



## **Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav**

### **Byggesystem lette ydervægselementer i stålskelet**

**Tommerup, Henrik M.**

*Publication date:*  
2004

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Tommerup, H. M. (2004). *Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav: Byggesystem lette ydervægselementer i stålskelet*. DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet. Byg Rapport No. R-096

---

#### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Henrik Tommerup

# Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav

Byggesystem: Lette ydervægselementer i stålskelet

DANMARKS  
TEKNISKE  
UNIVERSITET



Rapport  
BYG · DTU R-096  
2004

ISSN 1601-2917  
ISBN 87-7877-161-7

# Måling af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til BR2005 energikrav

Byggesystem: Lette ydervægselementer i  
stålskelet

Henrik Tommerup



Department of Civil Engineering  
DTU-bygning 118  
2800 Kgs. Lyngby  
<http://www.byg.dtu.dk>

2004

---

## FORORD

Denne rapport omhandler målinger af bruttoenergiforbrug i et højisoleret enfamilieshus samt analyser af elforbrugets betydning for varmekonsumet. Huset opfylder forventede krav til bruttoenergiforbruget i kommende nye energibestemmelser. Huset er beliggende i Lemvig og er opbygget af lette ydervægselementer i stålskellet, og er et blandt flere huse, der indgår i projektet. Målinger på de andre huse beskrives i separate rapporter.

Rapporten er udarbejdet af BYG•DTU i forbindelse med projektet ”Målinger af bruttoenergiforbrug i nybyggeri svarende til bygningsreglement 2005” (ELFOR - PSO 2003 - Projekt 335-28).

Der er tidligere udarbejdet rapporter der beskriver konstruktioner, varme- og ventilationsanlæg og beregninger af opvarmningsbehov (R-040) samt målinger af opvarmningsbehov (R-065). Det skal i øvrigt bemærkes at BYG•DTU ikke direkte har medvirket ved udvikling, projektering og opførelse af huset beskrevet i denne rapport. Der er imidlertid anvendt nogle nye typer højisolerede klimaskærmskonstruktioner i huset (især ydervægge og fundamenter/terrændæk), som er udviklet som principløsninger under Klimaskærmsprojektet, og som betyder at dette med fordel kan indgå i projektet.

Projektet er udført i samarbejde med de lokale elselskaber, der har etableret og hjemtaget elmålinger:

Ole Barslev, Thy-Mors Energi  
Robert Lauritsen, Nordvestjysk Elforsyning  
Carsten Tonn-Petersen, NESA

Rapportens forfatter er: Henrik Tommerup, forskningsadjunkt, BYG•DTU.

Professor Svend Svendsen, BYG•DTU, har været projektleder.

Danmarks Tekniske Universitet, Kgs. Lyngby, september 2004.

---

# INDHOLDSFORTEGNELSE

<b>FORORD</b>	<b>3</b>
<b>RESUMÉ</b>	<b>5</b>
<b>1 BAGGRUND OG FORMÅL</b>	<b>7</b>
1.1 BAGGRUND	7
1.2 FORMÅL	7
<b>2 MÅLING AF BRUTTOENERGIFORBRUG</b>	<b>8</b>
2.1 BESKRIVELSE AF MÅLINGER	8
2.2 GENNEMGANG AF MÅLINGER	9
2.3 MÅLINGER SAMMENHOLDT MED FORVENTEDE KRAV TIL BRUTTOENERGIFORBRUG	30
<b>3 ELFORBRUGETS BETYDNING FOR VARMEFORBRUGET</b>	<b>33</b>
3.1 METODE/FREMGANGSMÅDE	33
3.2 EL-BESPARELSER	35
3.3 FORDELING AF DET EL-RELATEREDE VARMETILSKUD	36
3.4 BEREGNINGSRESULTATER	38
<b>4 REFERENCER</b>	<b>40</b>
<b>BILAG 1: FACADER, PLAN OG TVÆRSNIT AF HUSET</b>	<b>41</b>
<b>BILAG 2: ELFORBRUG – KORTLÆGNINGSDATA FOR GRUNDMODEL</b>	<b>43</b>
<b>BILAG 3: ELFORBRUG – EL-SPARE-MODEL</b>	<b>47</b>
<b>BILAG 4: ELFORBRUGETS BETYDNING FOR VARMEFORBRUGET</b>	<b>49</b>

---

## RESUMÉ

Denne rapport omhandler målinger af bruttoenergiforbrug i fyringssæsonen 2003/2004 i et typisk 145 m<sup>2</sup> enfamiliehus, der er opført af ydervægselementer i stålskelet. Bruttoenergimålingerne har omfattet energiforbrug til rumopvarmning, varmt brugsvand, til dækning af varmetabet fra varmeinstallationen samt elforbruget, herunder forbruget til hårde hvidevarer, pumper, ventilatorer, belysning mv.

Formålet har været at dokumentere og analysere de fremkomne måleresultater og sammenligne med kommende krav til bruttoenergiforbruget. Desuden har det især været formålet at indsamle driftserfaringer for det el-forbrugende udstyr med henblik på at belyse deres betydning for varmebehovet, herunder foretage vurderinger af hvor stor en del af elforbruget der kommer til nytte i opvarmningen af huset, og mere overordnet hvordan elforbruget påvirker varmemeforbruget.

Der er rapporteret varmemålinger for en periode på 224 døgn, fra 24/9-2003 til 4/5-2004. I denne periode har det samlede varmemeforbrug været 8549 kWh, hvoraf der er afsat 3633 kWh til rumopvarmning i opholdsrum og 1780 kWh til varmt brugsvand (svarende til et årligt forbrug på 2900 kWh). Energiforbruget til rumopvarmning i baderum/bryggers er ikke målt separat, men detaljerede beregninger baseret på målingerne viser at dette udgør 29 % af det samlede varmemeforbrug til rumopvarmning set over måleperioden, svarende til et samlet energiforbrug til rumopvarmning på 5117 kWh. Denne betydelige andel skyldes især høje rumtemperaturer i disse rum i forhold til de tilstødende rum og et meget begrænset varmetilskud internt og fra solindfald. Varmetabet fra varmeinstallationen er målt/beregnet til ca. 2,5 W/m<sup>2</sup> svarende til 1949 kWh. Den gennemsnitlige inde- og udetemperaturen har i perioden været hhv. 22,1 °C og 4,4 °C. Ventilationsanlæggets brutto-temperaturvirkningsgrad har under normal drift og med balancerede luftmængder ligget på omkring 92 % ved et luftskifte på 0,5 h<sup>-1</sup>. Hertil skal tillægges en infiltration, der tidligere er bestemt til ca. 0,15 h<sup>-1</sup>.

El-forbruget er målt over en periode på 196 døgn, fra 18/10-2003 til 30/4-2004. Det samlede forbrug i perioden er målt til 2756 kWh, der kan opskaleres til et årsforbrug på 5133 kWh. Heraf udgør forbruget til hårde hvidevarer 36 %, som omtrent er som forventet ud fra energimærkningsdata mv. Procent-andelen af el-forbruget til apparatur med varmespild (hårde hvidevarer), der potentielt kan nyttiggøres til rumopvarmning, svarende til vask/opvask, tørretumbler (kondens) og komfur er vurderet til hhv. 40 %, 100 % og 50 %. Det interne varmetilskud fra personer er opgjort til 1,29 W/m<sup>2</sup>, mens varmetilskuddet fra apparatur og belysning er opgjort til 3,00 W/m<sup>2</sup>, hvilket samlet set resulterer i et gennemsnitligt internt varmetilskud på 4,29 W/m<sup>2</sup>.

Der er foretaget sammenligninger mellem det målte energiforbrug til rumopvarmning og detaljerede beregninger med bygningssimuleringsprogrammet BSIM 2002. Det skal bemærkes at de el-relaterede interne varmetilskud er medtaget på detaljeret vis i beregningsmodellen baseret på målingerne (på rumniveau og på timebasis). Sammenligningen viser at der er særdeles god overensstemmelse mellem det målte og det beregnede (forventede) energiforbrug svarende til få procents afvigelse. Energiforbruget til rumopvarmning er større end forventet, hvilket primært skyldes en relativt høj indetemperatur. Beregninger viser at hvis der forudsættes en setpunkttemperatur på 20 °C, kan energiforbruget reduceres med 18 %, svarende til en reduktion på 12 % pr. grad nedsat indetemperatur.

---

I forbindelse med indførelse af nye energibestemmelser i bygningsreglementerne, lægges der op til indførelse af krav om overholdelse af en energiramme ved nybyggeri, der for boliger vil omfatte det samlede behov for tilført energi til dækning af varmetab, ventilation, eventuel køling og varmt brugsvand (svarende til bruttoenergiforbruget). Sammenligninger af husets faktiske bruttoenergiforbrug og den forslåede energiramme, viser at bruttoenergiforbruget svarer til 107 % af energirammen, selvom huset har et opvarmningsbehov på omtrent en tredjedel af et typisk hus opført efter gældende regler. Årsagen til dette skyldes primært en høj indetemperatur, stort forbrug af varmt brugsvand, et betydeligt varmetab fra varmeinstallationen samt et stort elforbrug til ventilation. Hvis der benyttes beregningsforudsætninger og krav, som foreskrevet ved eftervisning af at energirammen er overholdt, samt en god isolering af varmeinstallationen, kan beregnes et bruttoenergiforbrug, der svarer til 65 % af energirammen, og huset kan dermed klassificeres som et lavenergihus i klasse 2, da energiforbruget udgør under 75 pct. af energirammen. Hvis varmeinstallation isoleres lidt bedre endnu og der samtidig installeres et solvarmeanlæg til produktion af varmt brugsvand, vil bruttoenergiforbruget kunne reduceres til 50 % af energirammen svarende til et lavenergihus i klasse 1.

Elforbrugets betydning for varmeforbruget er undersøgt ved beregninger på en grundmodel af huset baseret på målingerne og en el-spare-model, hvor der er antaget anvendt de mest energieffektive produkter på markedet. Det forøgede energiforbrug til rumopvarmning er sammenholdt med reduktionen i det potentielle varmetilskud. Da effekten på varmeforbruget afhænger af rumtemperatur, udeklima, ventilationsystem og solindfald, er der foretaget en række parametervariationer. Beregningerne har vist, at omkring 49 – 64 % af det el-relaterede varmetilskud kan nyttiggøres til rumopvarmning set over hele året. Den forholdsvis beskedne udnyttelse af varmetilskuddet skyldes bl.a. en væsentlig bedre isolering og ventilation med varmegenvinding, der indebærer en kortere fyringssæson, og derfor alt andet lige en mindre udnyttelse af ”el-varmen”.

Ser man på el-besparelser kontra øgede varmeudgifter, og forudsætter et typisk forhold mellem marginalprisen på el og varme på tre, kan beregnes en tilbageværende el-besparelse på mellem 86 og 90 %. Sagt med andre ord bliver kun omkring 10-14 % af el-besparelsen ”spist op” af forøgede varmeudgifter. Det skal bemærkes at den resulterende el-besparelse afhænger af i hvor høj grad man gennemfører el-besparelser på udstyr med varmespild.

---

# 1 BAGGRUND OG FORMÅL

## 1.1 Baggrund

Der anvendes stadigvæk en stor del af Danmarks energiforbrug i bygninger, selv om der er store muligheder for at opnå samme eller bedre komfort med et mindre energiforbrug. Der arbejdes med skærpede krav til energiforbruget i nybyggeri i forbindelse med nye energibestemmelser i 2005 og det nye energimærkningsdirektiv for byggeri. Der er behov for at stimulere processen med at få indført energibesparende byggeri i byggebranchen, og dette kan gøres ved at vise at:

- Energimålsætningen med ca. 30% mindre bruttoenergiforbrug kan opnås uden væsentlige ændringer i bygningers funktion, æstetik og økonomi.
- Metoderne til at eftervise krav til bruttoenergiforbruget ikke er vanskelige at benytte og giver store muligheder og frihedsgrader for at lave nye og bedre løsninger.

I forbindelse med projektet "Forsøgsbygninger med nye typer klimaskærmskonstruktioner" (ENS J. Nr. 1213/00-0011) er i samarbejde med typehusfirmaer opført enfamiliehuse, som repræsenterer de mest almindelige byggesystemer i Danmark. Husene vil kunne leve op til den forventede skærpelse i nye energibestemmelser, hvori det ligeledes er planen at der kun skal opereres med ét krav i form af en bruttoenergiramme. Der er i fyringssæsonen 2002/2003 udført detaljerede målinger af varmeforbrug til rumopvarmning mv. under primært ubeboede forhold med henblik på primært en validering af konstruktionernes varmetekniske ydeevne.

Det har været oplagt at benytte de omtalte enfamiliehuse til måling/analyse af bruttoenergiforbruget, idet man herved vil kunne vurdere den konkrete betydning af elforbruget samt hvordan elforbruget påvirker varmeforbruget, og dermed fastlægge og bearbejde eventuelle problemer i forhold til at opfylde et samlet bruttoenergikrav. Tidlige indikationer viser, at mindre energieffektive ventilationsanlæg eller pumper i varme- og varmtvandsanlæg samt varmetab fra varme- og varmtvandsrør hurtigt kan "opsuge" de besparelser der måtte være opnået gennem merisolering af klimaskærm, bedre vinduer, varmegenvinding osv., og derfor er det særdeles vigtigt at skabe opmærksomhed omkring dette område. Projektet er således relevant i forbindelse med at sætte fokus på de områder som har betydning for varme- og elforbruget.

## 1.2 Formål

Projektets formål har været at indhente målinger af bruttoenergiforbrug for fyringssæsonen 2003/2004 med beboere i husene. Det overordnede formål med projektet er at:

- videreføre målinger af opvarmningsbehov og supplere disse med målinger af bruttoenergiforbruget i beboet tilstand, svarende til at der tilføjes målinger af forbruget til varmt brugsvand og virkningsgraden af varmeanlægget, samt målinger af elforbrug til ventilationsanlæg, pumper i varme- og varmtvandsanlæg, hårde hvidevarer og belysning.
- dokumentere og analysere de fremkomne måleresultater og erfaringer med henblik på at rette fejl og sammenligne med de kommende krav til bruttoenergiforbruget i nybyggeri, og derigennem vise at metoderne til at eftervise kravene ikke er vanskelige at benytte og giver store muligheder og frihedsgrader i forbindelse med at lave nye og bedre løsninger.
- indsamle driftserfaringer for det elforbrugende udstyr for derigennem at belyse deres betydning for varmebehovet, herunder foretage vurderinger af hvor stor en del af elforbruget til hårde hvidevarer, belysning mv. der kommer til nytte i opvarmningen af huset, og mere overordnet hvordan elforbruget påvirker varmeforbruget.



---

## 2 MÅLING AF BRUTTOENERGIFORBRUG

Der redegøres i dette kapitel for varmemeforbrugsmålinger og elmålinger i indeværende fyringssæson. Resultaterne af målingerne sammenholdes med forventede/beregnete energiforbrug og forventede krav til bruttoenergiforbruget. Målingerne benyttes i forbindelse med beregninger/analyser af elforbruget betydning for varmemeforbruget, som der redegjort for i kapitel 4.

### 2.1 Beskrivelse af målinger

Der redegøres i dette afsnit kort for det måleudstyr, der er anvendt til måling af bruttoenergiforbruget. Der er foretaget målinger af varmemeforbruget til rumopvarmning og varmt brugsvand samt elforbrug til apparatur, belysning og varme- og ventilationsanlæg. Desuden er der målt diverse temperaturer (inde, ude og i ventilationsanlæg) samt solindfald.

#### 2.1.1 Brunata Net

Det anvendte målesystem hedder Brunata Net, og er oprindeligt udviklet af Brunata a/s til overvågning og forbrugsmåling med fjernaflæsning af f.eks. el, vand, varme og gas. I forbindelse med målinger på forsøgshusene har Brunata i samarbejde med BYG·DTU videreudviklet systemet til at kunne foretage de målinger, der har været behov for, herunder udviklet en temperaturlogger og en solintegrator til solstrålingsmålinger. I det målesystem der er anvendt i forsøgshusene indgår temperaturloggere med radiosendere (med og uden ekstern føler), energimålere, pulsopsamlere med radiosendere, radiomodtagere og en central dataopsamlingsenhed. Radiomodtagerne opsamler målerens radiosignaler og sender dem videre gennem ledninger til en dataopsamlingsenhed, der gemmer data indtil de bliver hjemtaget, hvilket foretages via telefonnettet til en pc'er.

#### 2.1.2 Temperaturlogger

Måling af temperaturer foretages med en særlig temperaturlogger, der er udviklet til de omtalte forsøgshuse. Loggeren foretager en måling hvert 10. sekund og herudfra beregnes og gemmes en 10 minutters middeltemperatur samt en maksimum-temperatur og minimum-temperatur indenfor de seneste 10 minutter. Måleområdet er i standard opsætning  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  til  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  med en opløsning på  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Det tilhørende batteri har en estimeret levetid på 5 år. Denne nye temperaturlogger blev installeret i det konkrete hus i september 2003. Tidligere er der anvendt en loggertype der har kunnet levere en døgnmiddeltemperatur med en opløsning på  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### 2.1.3 Solintegrator

Der er udviklet en solintegrator der muliggøre hjemtagning af solstrålingsmålinger foretaget med solarimetre. Integratoren omsætter spænding (mV) målt med solarimetre til pulser som opsamles med Brunata pulsopsamlere. De hjemtagede tællinger/pulser konverteres til solbestrålingsstyrke ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) via kendt sammenhæng mellem input spænding og pulser.

#### 2.1.4 Energimåler

Til måling af varmemeforbrug til hhv. rumopvarmning og varmt brugsvand er der anvendt HG energimålere fra Brunata (type HGQ1). Målerne består af en flowmåler og to temperaturfølere (til måling af frem- og returløbstemperatur) samt selve måleren med regneværk. Nøjagtigheden kan ifølge producenten forventes at være plus/minus 3 % ved normal anvendelse og op til 5 % ved små flow og temperaturforskelle.

---

### 2.1.5 Elmålinger

Elmålinger udføres ikke med Brunata net systemet, men af de lokale elselskaber. Der foretages målinger på timebasis på grupper af udstyr, opdelt på installationer, ”våd” apparatur med varmespild, ”tørt” apparatur uden varmespild og en hovedmåling (samlet tilgang af el). Der er i husene i Snekkersten og Brøndby Strand anvendt klasse 2 - målere (2 % nøjagtighed), der måler 100 pulser/kWh svarende til en opløsning på 1 %. I disse huse er målerne indsat som direkte målere (ikke med strømtransformere) i en permanent installation. Der er suppleret med spotmålinger og simple integrerende målere, hvor det er relevant, med henblik på at få indblik i de enkelte forbrug. Der er desuden foretaget en kortlægning/registrering af alle elforbrugende installationer og apparatur.

### 2.1.6 Behandling af måledata

Brunata har udviklet et program til databehandling, hvor man ved at køre data gennem et ”filter”, kan sikre at man får kontinuerlige dataserier i form af f.eks. 10 min. eller time værdier.

## 2.2 Gennemgang af målinger

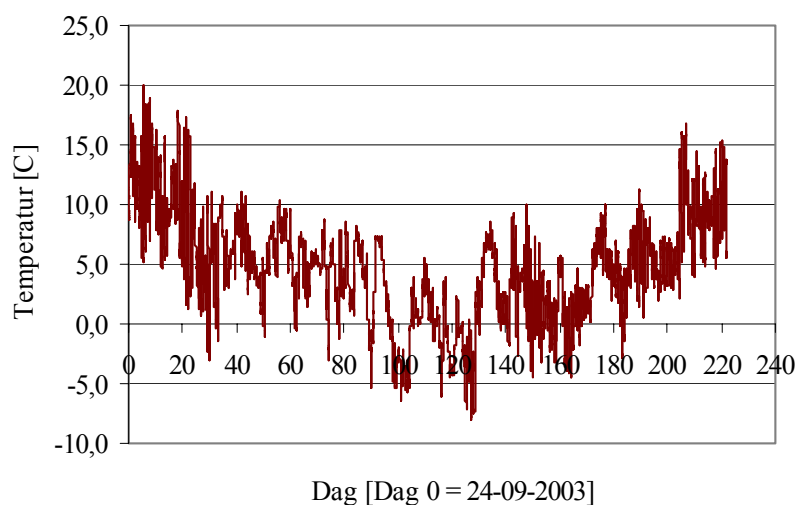
I det følgende gennemgås målinger udført i perioden 24/9-2003 til 4/5-2004, svarende til en periode på 224 dage. Der redegøres senere i rapporten for detaljerede analyser af periodens sidste 64 dage.

Det aktuelle hus er som nævnt beliggende i Lemvig, og har siden ultimo 2001 været beboet af en familie på to voksne og to små børn (0-5 år). Overordnede tegninger af huset (plan, facader og tværsnit), fremgår af bilag 1.

### 2.2.1 Udetemperatur

Udetemperaturen er i den første del af perioden målt i skygge ved østgavlen, mens den i de sidste to måneder er målt i skygge ved nordfacaden. En sammenligning af den målte temperaturer i Lemvig og ved den nærmeste DMI målestation (Mejrup), viser god overensstemmelse mht. både måneds- og periodemiddeltemperatur. Der er i perioden okt. 2003 til april 2004 (inkl.) målt en middeltemperatur på 4,1 °C i Lemvig og 4,2 °C i Mejrup. Den tilsvarende temperatur iht. det danske referenceår (DRY) er 3,0 °C.

Udetemperaturens variation i måleperioden er vist i Figur 1. Middeltemperaturen for perioden er bestemt til 4,4 °C.



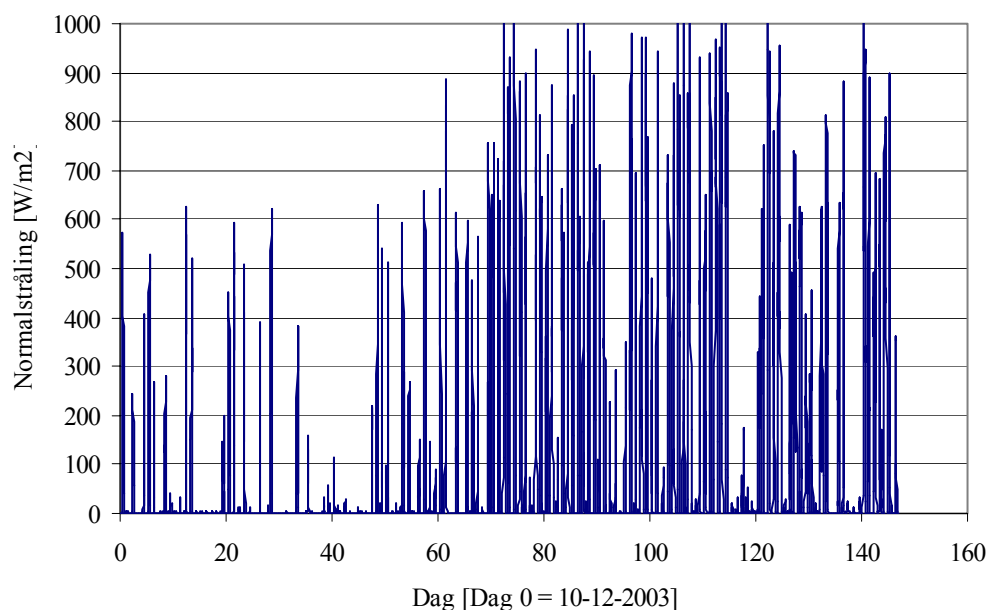
Figur 1. Udetemperatur.

### 2.2.2 Solindfald

Der er ikke målt solindfald ved selve huset i Lemvig. Der er imidlertid foretaget solmålinger ved det nærliggende forsøgshus på Thyholm (ca. 20 km nordøst for Lemvig), idet der herfra foreligger data fra og med d. 10-12-2003. Det antages for tilstrækkeligt nøjagtigt at benytte soldata fra Thyholm i de efterfølgende beregninger/analyser af energiforbrug.

Der foreligger målinger af den udvendige solbestrålingsstyrke på lodret mod hhv. syd, nord, øst og vest. Der er behov for at konvertere disse til generelle soldata i form af direkte normalstråling og diffus himmelstråling på vandret, der kan anvendes til beregninger i BSIM. Dertil benyttes Petersen solalgoritmer og en simpel antagelse om et skydække svarende til den helt overskyede himmel (8 oktas). Soldata bestemmes på baggrund af målte solintensiteter og beregnede indfaldsvinkler. Ved brug af den skitserede metode er der beregnet et totalt solindfald på husets flader, der kun er ca. 3 % større end det målte. Afvigelser på de enkelte timer og flader er fornuftige.

Den beregnede direkte normalstråling (baseret på målinger på lodret), er vist i Figur 2.



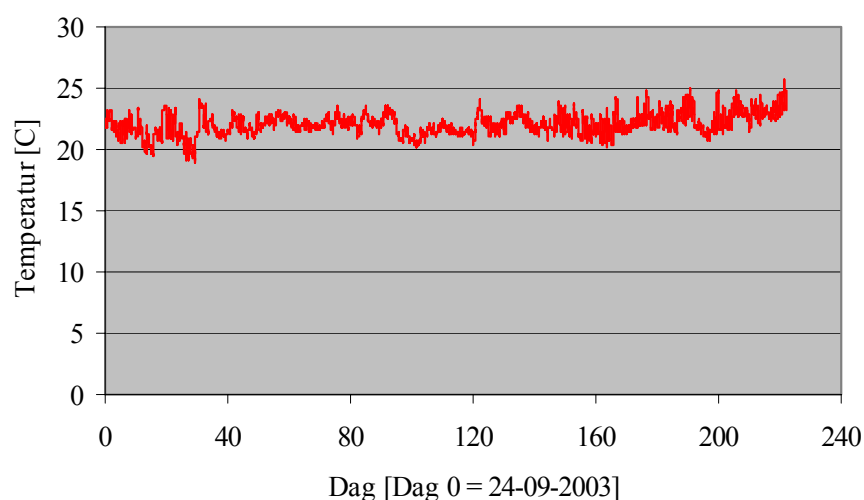
Figur 2. Beregnet direkte normalstråling i perioden 10-12-2003 til 04-05-2004.

Figur 2 viser at solstrålingen har været betydelig i den sidste del af perioden og ikke overraskende meget begrænset i december og januar (dag 0 til ca. dag 50). Alt i alt ser data fornuftige ud, og afspejler hvad man kan forvente.

### 2.2.3 Indetemperatur

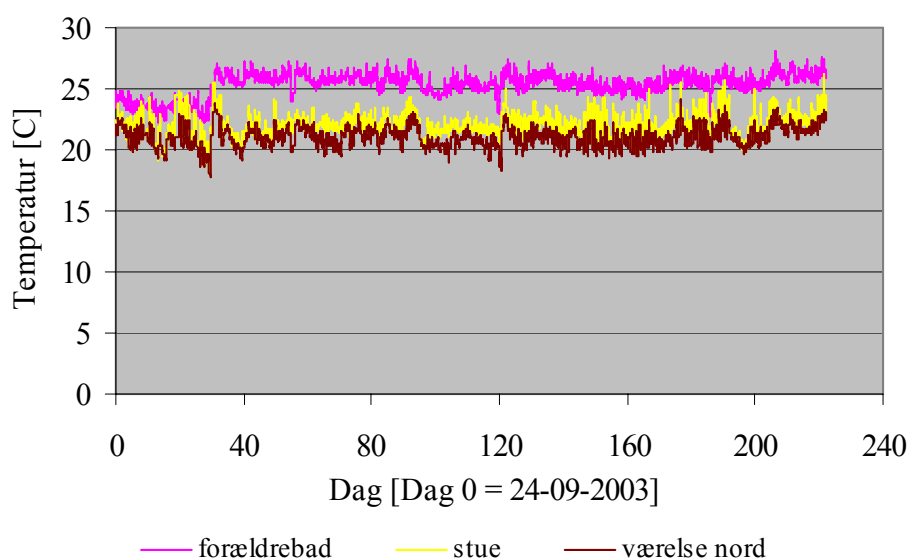
Indetemperaturen er målt vha. de omtalte temperaturloggere, placeret på indvendige vægge i samtlige rum (med undtagelse af gangen) og i en højde af ca. 1,5 m fra gulvoverfladen.

Figur 3 nedenfor viser den gennemsnitlige indetemperatur, der er en arealvægtet middelværdi af målinger i de enkelte rum. Det ses at middeltemperaturen har været relativt stabil i måleperioden. Middeltemperaturen er beregnet til 22,1 °C. De høje temperaturer fører generelt til et væsentligt forøget opvarmningsbehov.



Figur 3. Middeltemperaturen i huset.

Indetemperaturen for nogle udvalgte rum er vist i nedenstående Figur 4. Der er i måleperioden målt de laveste temperaturer i det nordvendte værelse, mens de klart højeste temperaturer er målt i badeværelset. Middeltemperaturerne i de to rum har været hhv. 21,2 og 25,6 °C. Den tilsvarende temperatur i stuen er 22,1 °C. Det skal bemærkes at der omkring dag 35 (ultimo oktober) sker en pludselig temperaturstigning i badeværelset, hvilket skyldes en opregulering af termostat temperaturen. Temperaturniveauet efter justeringen holdes resten af fyringssæsonen, og er i kombination med et minimalt internt varmetilskud/solvarmetilskud årsag til at en betydelig del af den forbrugte varme til rumopvarmning afsættes i dette rum (op mod 25 %, jf. senere i rapporten).

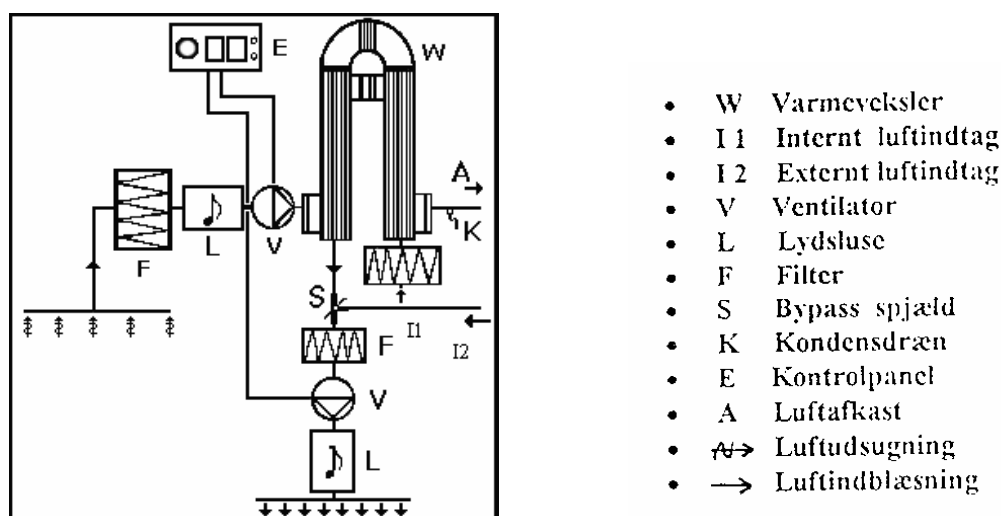


Figur 4. Indetemperaturer i udvalgte rum.

### 2.2.4 Effektivitet af varmeveksler

Effektiviteten af varmeveksleren (temperaturvirkningsgraden) er defineret som forholdet mellem den opnåede temperaturstigning i veksleren af den indadgående luftstrøm og forskellen mellem de to luftstrømmes tilgangstemperaturer.

Det aktuelle atypiske ventilationsanlæg med varmegenvinding er konstrueret således at indtagsluften som udgangspunkt tages fra loftrummet, som vil have en anden (og oftest højere) temperatur end udeluften. Desuden er ventilatorer og veksler placeret separat og altså ikke som normalt integreret i et aggregat. Derfor er det relevant, at betragte to temperaturvirkningsgrader, nemlig brutto- og netto-temperaturvirkningsgraden. En principskitse af anlægget er vist i Figur 5.



Figur 5. Schematisk oversigt over ventilationsanlægget. Veksler, ventilatorer og kanalsystem mv. er indbygget i loftisoleringen.

Brutto-temperaturvirkningsgraden angiver hvor meget den indblæste luft opvarmes i forhold til temperaturforskellen mellem inde og ude, og inkluderer derfor effekten af ”forvarmning i loftrum”, varmeafgivelse fra ventilatorer og varmetab fra kanalsystem mm.

Brutto-temperaturvirkningsgrad (system):

$$\eta_{brutto} = \frac{(T_{indblæsning} - T_{udeluft})}{(T_{indeluft} - T_{udeluft})} \quad \eta_{brutto} \geq 0$$

Indblæsningsluftens temperatur ( $T_{indblæsning}$ ) måles efter indblæsningsmotoren og temperaturen  $T_{udeluft}$  og  $T_{indeluft}$  er hhv. ude- og indelufts temperatur.

Denne virkningsgrad er ikke en god målestok for varmeveksleren, da den viser hele systemets virkningsgrad, og ikke selve varmeveksleren. Netto-virkningsgraden giver det reelle billede af selve varmevekslerens temperaturvirkningsgrad.

Netto-temperaturvirkningsgrad (varmeveksler):

---


$$\eta_{netto} = \frac{(T_{indblæsning, korr.} - T_{indtag})}{(T_{udsugning} - T_{indtag})} \quad 0 \leq \eta_{netto} \leq 1$$

$T_{indblæsning, korr.}$  er indblæsningsluftens temperatur målt umiddelbart efter veksleren (før indblæsningsventilatoren),  $T_{udsugning}$  er udsugningsluftens temperatur målt umiddelbart før veksleren (efter udsugningsventilatoren), mens  $T_{indtag}$  er udeluftens temperatur lige før indløbet til varmeveksleren.

I den betragtede periode har der kunne måles følgende middeltemperaturer:

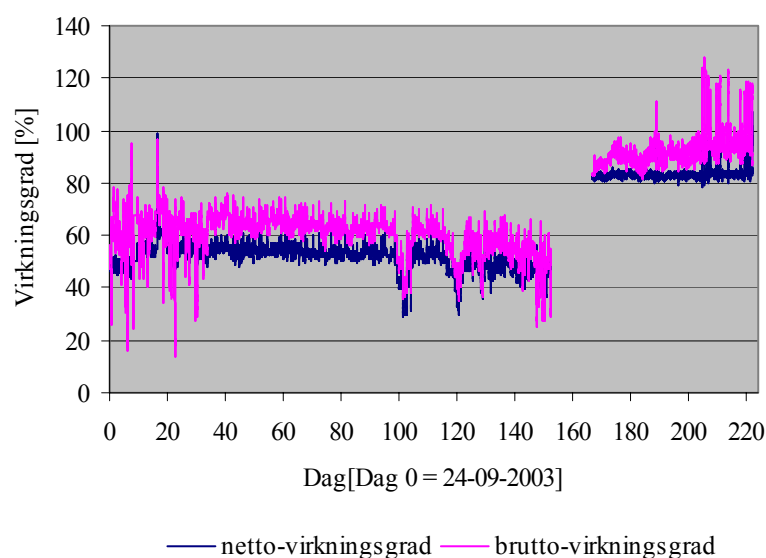
$T_{udeluft}$	=	4,4 °C
$T_{indtag}$	=	6,2 °C
$T_{indeluft}$	=	22,1 °C
$T_{udsugning}$	=	23,5 °C
$T_{indblæsning, korr.}$	=	16,5 °C
$T_{indblæsning}$	=	$T_{indblæsning, korr.}$

Det ses at lufttemperaturen målt i kanalsystemet lige før indløb til veksleren er 1,4 °C højere end den beregnede middelindetemperatur. Dette skyldes dels temperaturstigningen over ventilatoren, og dels at den udsugede rumluft tages fra det øvre luftvolumen i rum, hvor middeltemperaturen er højere end gennemsnittet for hele huset. Der sker en mindre afkøling af luften pga. varmetab fra kanalsystemet (indbygget i loftisoleringen) på stykket fra udsugningsventiler og frem til varmeveksleren.

Det antages at indblæsningstemperaturen, der er målt lige efter varmeveksleren, svarer til den indblæste temperatur, idet det antages at temperaturstigningen over ventilatoren opvejes af varmetabet fra kanalsystemet på stykket fra veksler til indblæsningsventiler i de enkelte rum.

Det er vigtigt for effektiviteten af et ventilationsanlæg med varmegenvinding at det indreguleres, så der indblæses og udsuges omtrent samme luftmængde, og at balanceringen af luftmængderne ikke umiddelbart og utilsigtet kan ændres af ikke-fagfolk. Sidstnævnte har der været problemer med i en stor del af måleperioden, hvilket har resulteret i en større luftmængde i indblæsningen end i udsugningen og deraf en nedsat varmegenvinding. Den større indblæsning forårsager et overtryk, som antages udlignet ved eksfiltration af indeluft. Siden ca. 1. marts 2004 har anlægget kørt balanceret og med en luftmængde på 140 m<sup>3</sup>/h svarende til et luftskifte på 0,5 h<sup>-1</sup>.

I Figur 6 er vist temperaturvirkningsgraden over hele måleperioden.



Figur 6. Effektivitet af varmegenvindingen udtrykt ved brutto- og netto-temperaturvirkningsgraden.

Det ses at brutto-temperaturvirkningsgraden i den første del af fyringssæsonen kun har været på ca. 60 %, hvilket som nævnt skyldes de ovenfor skitserede problemer. Den gennemsnitlige brutto- hhv. nettovirkningsgrad i denne sidste del af fyringssæsonen, er beregnet til 92 og 84 %. De meget høje bruttovirkningsgrader over 100 %, der forekommer i den sidste del af perioden, svarende til en indblæsningstemperatur der er større end indetemperaturen, skyldes et stort solindfald på taget og dermed betydelig opvarmning af loftrummet hvor vekslerens indtagsluft tages fra.



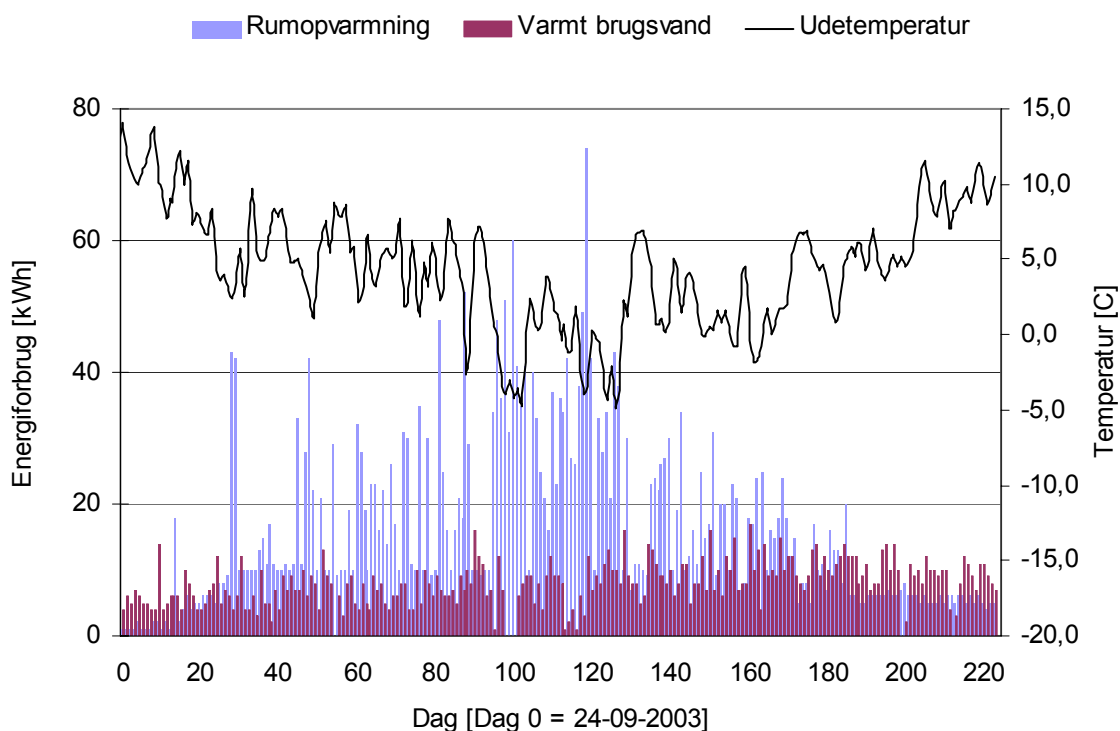
## 2.2.5 Varmeforbrug til rumopvarmning og varmt brugsvand

Energiforbruget er i måleperioden målt med separate flow-/energimålere på varme afsat i gulvvarmeanlægget og til varmt brugsvand. Det skal bemærkes at der mht. rumopvarmning er målt på energiforbruget i opholdsrum (ekskl. baderum og bryggers). Energiforbruget for baderum og bryggers beregnes/omtales senere i rapporten.

Figur 7 viser forbruget for de enkelte dage i perioden (24/9-2003 til 4/5-2004). Udetemperaturen er også vist (døgnmiddelværdi), der sammen med solindfaldet er afgørende for opvarmningsbehovet. Det ses at forbruget til rumopvarmning er størst for dag 120, hvilket også er ensbetydende med en af de koldeste dage. Forbruget er væsentligt mindre omkring dag 128, selvom udetemperaturen er lidt lavere end da forbruget var størst, hvilket primært skyldes nogle mere solrige dage i denne periode ift. omkring dag 120. De relativt store energiforbrug for dag 28 og 29, er sammenfaldende med fyringssæsonens første rigtigt kolde dage. Dette i kombination med et formentligt lille solindfald (der foreligger ikke målinger for disse dage) og et forholdsvis lille internt varmetilskud (elforbrug), kan forklarer de store forbrug.

Det ses at det kun er i de koldeste vintermåneder at energiforbruget til rumopvarmning i opholdsrum er væsentligt større end forbruget til varmt brugsvand. I fyringssæsonens overgangsperioder er forbruget kun lidt større eller på niveau med forbruget til varmt vand.

I den betragtede periode har der været et varmeforbrug til rumopvarmning på 3633 kWh og 1780 kWh til varmt brugsvand (= årligt forbrug på 2900 kWh). Det samlede forbrug af varme i måleperioden har været 8549 kWh, som inkluderer varmeforbrug i baderum/bryggers og varmetab fra varmeinstallationen.



Figur 7. Energiforbrug til rumopvarmning (gulvvarme i opholdsrum) og varmt brugsvand.

---

Huset opvarmes med fjernvarme. I alle rum undtagen baderum og bryggers er temperaturen på vandet i gulvvarmesystemet reguleret i et shunt-aggregat styret af trådløse rumtermostater. Gulvvarmen i badeværelser og bryggers går uden om shunt-aggregatet (pumpeafhængigt, tryk udefra) og styres af en FJVR returløbsventil/-termostat. Derved kan der slukkes for varmen/pumpen om sommeren og stadig opretholdes (komfort)varme i baderum/bryggers. Varmt brugsvand fremstilles pumpeafhængigt i en gennemstrømningsvarmeveksler (pladeveksler) som styres af en AVTB ventil til indregulering af varmtvandstemperaturen.

Gulvvarmeanlæggets fremløbstemperatur reguleres manuelt, og er i starten af perioden fejlagtigt blevet reguleret op på 40-42 °C, hvilket er en langt højere temperatur end hvad der er nødvendigt, og som forårsager et stort og unødvendigt varmetab mod jord. Fremløbstemperaturen i de sidste to måneder af perioden har ligget på ca. 36 °C. Ud fra målinger af energiforbrug og volumenstrøm kan der beregnes en gennemsnitlig afkøling i gulvvarmeanlægget på 7-8 °C. Den gennemsnitlige afkøling af det leverede fjernvarmevand har i perioden været 36 °C.

Løsningen på problemet med for høj fremløbstemperatur, er en automatisk fremløbsregulering med vejrkompensering, der tager højde for behovet for varme hen over fyringssæsonen. En sådan løsning findes på markedet og det ville være interessant at undersøge betydningen for varmekonsumet ved implementering af løsningen i huset.

---

### 2.2.6 Varmetab fra varmeinstallation

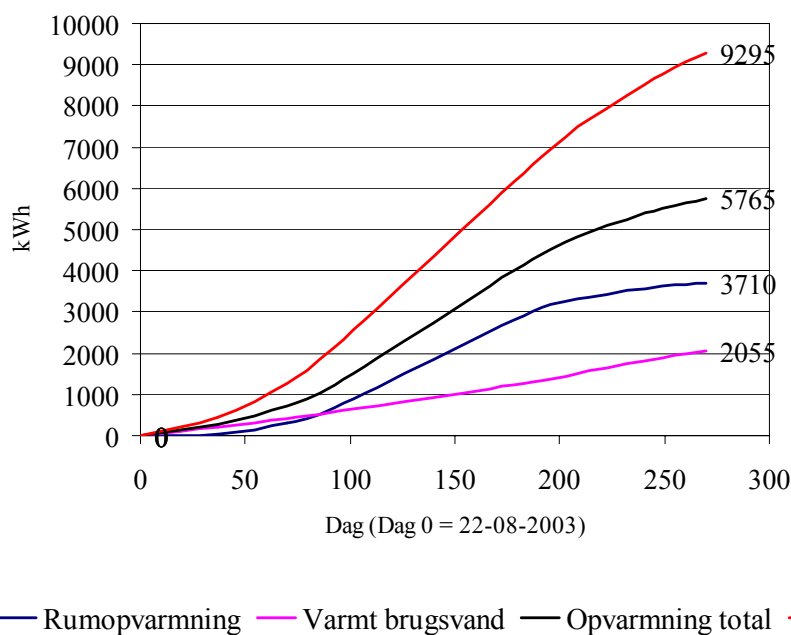
Varmetabet fra varmeinstallationen kan bestemmes ud fra målinger af den samlede leverede varme til huset (fjernvarmeværkets måler) fratrukket varmekonsumet til rumopvarmning og varmt brugsvand. Energimåleren på varmt brugsvand er placeret på sekundærsiden af gennemstrømningsvandvarmeren. For det pågældende hus vil varmetabet omfatte tab fra varme- og varmtvandsrør, ventiler, pumpe, pladevarmeveksler mm, som er placeret mellem fjernvarmeværket måler og de to varmemålere på gulvvarme og varmt brugsvand. Varmeinstallationen er vist i Figur 8.



Figur 8. Fjernvarmeinstallationen i forsøgshuset i Lemvig. Pladeveksleren til fremstilling af varmt brugsvand ses øverst til venstre. I højre side af billedet ses shuntaggregat og pumpe.

Det ses af Figur 8 at varmerør og den øvrige varmeinstallation ikke er isoleret, hvilket er typisk for almindelige fjernvarmeinstallationer i småhuse. Dette forårsager et betydeligt varmetab/-tilskud, der naturligvis kan nyttiggøres til opvarmning om vinteren, hvor varmetabet via klimaskærm og ventilation det meste af tiden er større end det interne varmetilskud og solvarmetilskud, men som i fyringssæsonens overgangsperioder kun begrænset kan udnyttes til opvarmning, da huset er meget velisoleret. I sommerperioden er varmetabet rent spild.

Figur 9 viser de enkelte målte varmekonsum i en periode på 271 dage svarende til 22/8-2003 til 18/5-2004. Alle forbrug er akkumuleret over perioden med Dag 0 som reference.



Figur 9. De enkelte målte varmekonsum. Konsumet til rumopvarmning indeholder ikke konsum i baderum/bryggers.

Det fremgår af Figur 9 at der er stor forskel på det målte totale konsum (leveret varme) og summen af varmekonsumet til rumopvarmning og varmt brugsvand (opvarmning total). Dette restkonsum er varmetabet fra varmeinstallationen og også varmekonsum i baderum og bryggers, som der som nævnt ikke er målt separat. Hvis varmekonsumet i baderum og bryggers på simpel vis antages at svarer til det gennemsnitlige konsum i resten af huset, kan varmetabet fra varmeinstallationen beregnes til 2815 kWh eller  $3,0 \text{ W/m}^2$ . Varmekonsumet må dog antages at være noget større i baderum pga. højere indetemperaturer og lille varmetilskud fra el-udstyr, personer og solindfald. Varmetabet fra varmeinstallation må derfor i snit over perioden antages at være lidt mindre svarende til ca.  $2,5 \text{ W/m}^2$ , som i øvrigt svarer til halvdelen af det typisk anvendte gennemsnitlige interne varmetilskud fra el-udstyr, belysning og personer ( $5 \text{ W/m}^2$ ). Varmetabet svarer til tabet fra en uisoleret rørlængde på 7 m under forudsætning af 1'' stålrør og en temperaturforskel mellem omgivelser og rør på  $35^\circ\text{C}$ . Varmetabet fra pumper og ventiler kan typisk omregnes til hhv. 2,0 og 0,2 m ækvivalent uisoleret rørlængde.

Der foretages senere i rapporten i forbindelse med eftervisning af den målte varmekonsum detaljerede simuleringer af varmekonsumet i baderum og bryggers, så varmetabet fra varmeinstallationen mere præcist kan bestemmes.

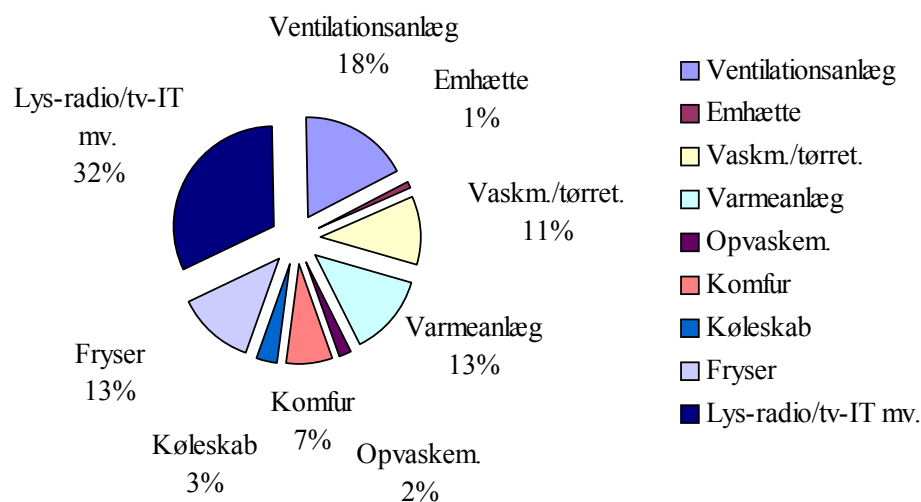
### 2.2.7 Elforbrug

Der redegøres i det følgende for elmålinger foretaget over en periode på 196 døgn, fra 18/10-2003 til 30/4-2004 (inkl.). Målinger er foretaget på grupper af apparatur og installationer, som anført i Tabel 1.

Tabel 1. Oversigt over målere på grupper af apparatur og installationer

Måler	Bemærkninger
Ventilationsanlæg	Mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding
Emhætte	
Vaskm./tørret.	Vaskemaskine, tørretumbler (kondens)
Varmeanlæg	Pumpe, varmestyringer og målesystemer
Opvaskem.	
Komfur	Udledt ud fra separat måling på komfur og opvaskem. samt opvaskem.
Køleskab	Målt med simpel integrerende måler over 20 døgn.
Fryser	Målt med simpel integrerende måler over 20 døgn.
Lys-radio/tv-IT mv.	Udledt ud fra måling af tilgang til hus fratrullet de ovennævnte forbrug.

Elforbruget i måleperioden fordelt på de enkelte grupper er vist i Figur 10. Det samlede elforbrug i perioden var 2756 kWh, hvilket kan opskaleres til et årligt forbrug på 5133 kWh.



Figur 10. Elforbrug fordelt på forskellige grupper af apparatur og enkelt-komponenter, med angivelse af pct-andelen af det samlede forbrug.

Det ses at elforbruget til ventilation og varme udgør en stor del af det samlede elforbrug (31 %). Disse målinger omtales i detaljer i særskilte afsnit. Den særskilte måling på emhætten viser at elforbruget hertil ikke overraskende kun udgør 1 % af det samlede elforbrug. Elforbruget til hårde hvidevarer udgør 36 % (1857 kWh) af det samlede forbrug. Forbruget for de enkelte hvidevarer,

deres andel af det samlede forbrug, de forventede forbrug (baseret på oplysninger fra Elforsyningens Database) samt energiklassificeringen fremgår af Tabel 2. Det skal bemærkes at det forventede forbrug for fryseren er for en lidt nyere model af samme størrelse. Det ses at forbruget til apparaterne i køkkenet kun udgør 34 % af det samlede forbrug, mens fryser, vaskemaskine og tørretumbler udgør resten. Det ses også at der især er et stort forbrug til fryseren.

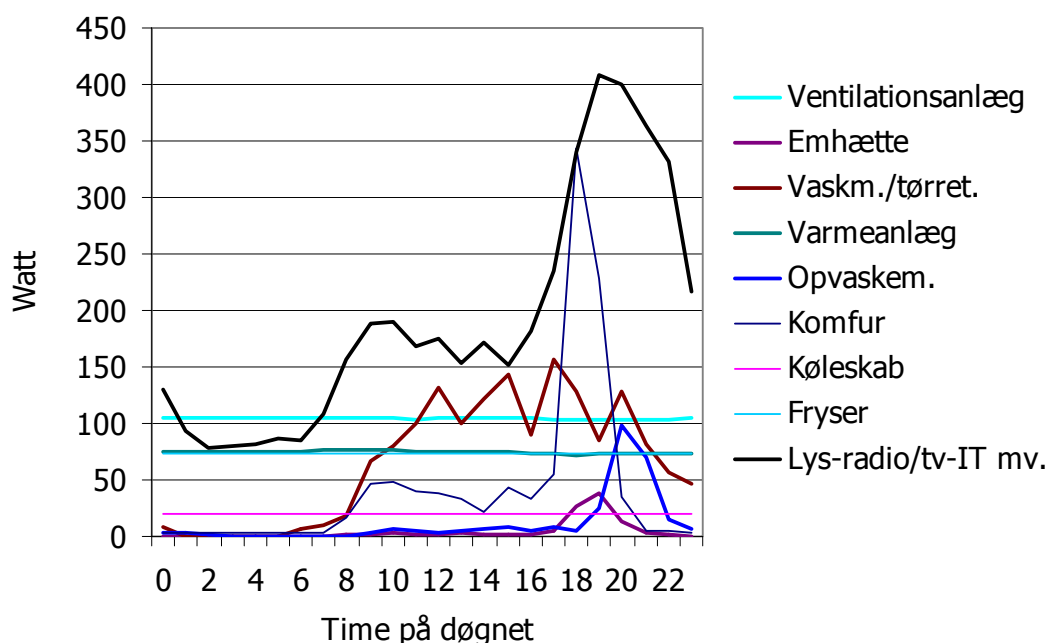
Sammenlignes det målte og forventede forbrug ses det at der er omtrent overensstemmelse for vaskem./tørret. For fryseren er der målt et lidt større forbrug end forventet, hvilket kan skyldes at det forventede forbrug er for en lidt nyere model. Opvaskemaskinens forbrug er væsentlig mindre end ”forventet”, hvilket kan forklares med en relativt kort brugstid på i gennemsnit 2 gange om ugen. Producenten angiver at elforbruget er 1,05 kWh/opvask (normalprogram, standardtest). På denne baggrund kan beregnes et revideret forventet forbrug på 109 kWh/år, som svarer omtrent det målte.

Tabel 2. Målte og forventede el-forbrug til hårde hvidevarer i kWh/år. De forventede forbrug er baseret på data fra fabrikanten/importører.

Apparatur	Målt	Andel i pct.	Forventet	Energiklasse
Vaskm./tørret.	568	31	530 <sup>1)</sup>	A og C
Opvaskem.	101	5	231 (109)	A
Komfur	373	20	-	
Køleskab	168	9	172	A
Fryser	646	35	548	F
I alt	1857	100	-	-

<sup>1)</sup> 190 kWh til vaskemaskine og 340 kWh til tørretumbler.

Elforbrugets fordeling over døgnet er interessant og afgørende for hvor meget der kan nyttiggøres til rumopvarmning. I Figur 11 er vist effektforbrugets døgnvariation på de enkelte grupper.

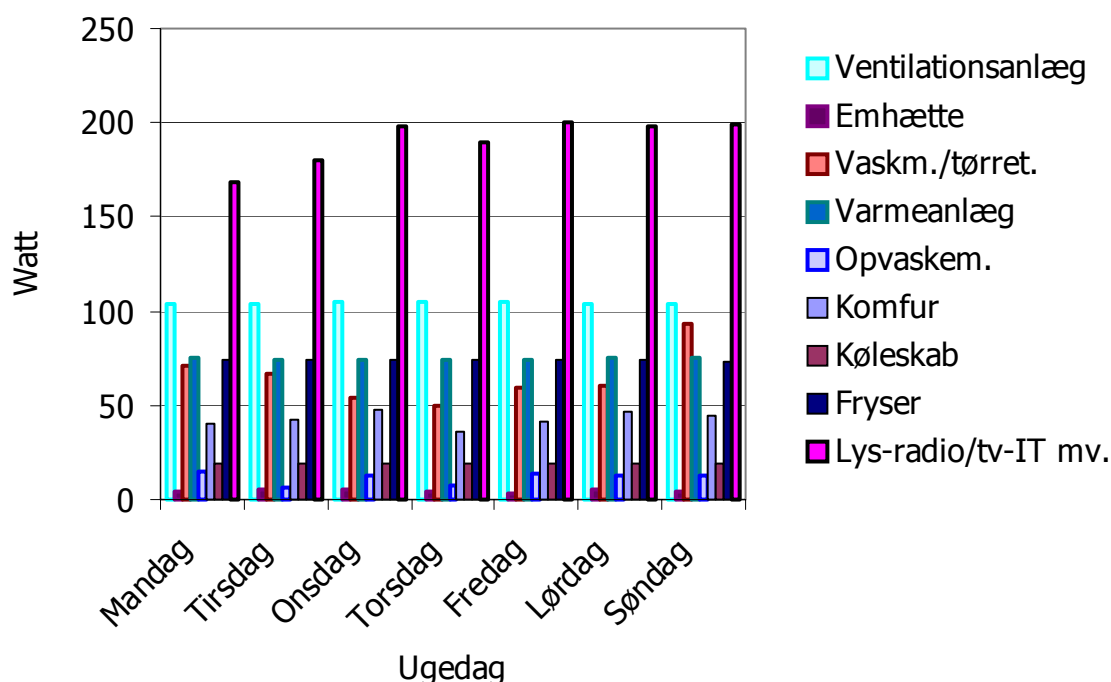


Figur 11. Midleffektforbrug pr. time på døgnet.

Det ses at for de forbrugsgrupper, der har et væsentligt varierende forbrug, er forbruget koncentreret i aften timerne. Der er for gruppen ”lys-radio/tv-IT mv.” og ”vaskm./tørret.” også et forholdsvis stort effektforbrug i dagtimerne, hvilket hænger sammen med at beboerne i perioder ikke har været udearbejdende.

Det ses også at effektforbruget midt om natten er ca. 80 W på gruppen ”lys-radio/tv-IT mv.”, hvilket må antages at skyldes diverse ”stand-by-forbrug”. 80 W svarer til 700 kWh på årsbasis eller 14 % af det samlede elforbrug.

I Figur 12 er vist effektforbruget opgjort som middeleffekt for hver enkelt ugedag.



Figur 12. Middeleffektforbrug pr. ugedag.

Det ses at der ikke forekommer nogen signifikante forskelle i effektforbruget på de enkelte ugedage. Dog er der en betydelig og normal variation på forbruget til vask og tørring af tøj samt opvask.

Der er foretaget en detaljeret kortlægning af alle el-komponenter i huset, herunder hårde hvidevarer, belysningsarmaturer, små-apparatur, pumper mm, med henblik på fordeling af de målte grupperede elforbrug/varmetilskud på husets rum og døgnets timer samt som grundlag for en vurdering af hvor der kan opnås relevante elbesparelser. Der er bl.a. foretaget registrering af mærke/type, mærkeeffekt og rumplacering. Der har været behov for at estimere af den årlige brugstid for visse komponenter, især små-apparatur, hvilket er foretaget på baggrund af bl.a. oplysninger fra beboerne.

I bilag 2 er præsenteret resultater af kortlægningen. Brugstider mv. er tilpasset så det samlede årlige elforbrug svarer til det samlede målte forbrug opskaleret til et årsforbrug. Desuden er vist en række tabeller, hvor elforbruget er opdelt på komponenter hvis hovedformål er varmeproduktion (varme), komponenter til belysning (lys), elektronik og mekanik samt fordeling på de enkelte rum.

---

Med dette som udgangspunkt og med kendskab til hvor stor en del af elforbruget der bliver til potentielt varmetilskud, kan varmetilskuddet til de enkelte rum bestemmes på timebasis.

### **2.2.8 Elforbrug i varmeanlæg**

Det gennemsnitlige effektforbrug til varmeanlægget har været 75 W i måleperioden. I perioden har den typisk Grundfoss UPS pumpe kørt med en hastighed svarende til både trin 3 og trin 1. Trin 3 svarer til VVS-installatørens typisk indstilling i traditionelle huse, der sikrer den nødvendige varme hele året. I det aktuelle højisolerede hus kan setpunktet for indetemperaturen dog formentlig opretholdes selv i meget kolde perioder med en pumpeindstilling på trin 1, hvor elforbruget er betydeligt mindre. I den periode hvor pumpen har været indstillet på trin 3 har forbruget i gennemsnit været 84 W og i perioden på trin 1 har forbruget været 53 W. Pumpen har en mærkeeffekt på 60 W på trin 3 og 30 W på trin 1. Det resterende forbrug på 23-24 W skyldes varmestyring, energimålere (3 stk på hver 2,5 W), dataopsamlingsenhed mm.

Det skal bemærkes at det muligvis kan være et problem at anvende en UPS pumpe på trin 1, når der som oftest er store forskelle i trykfaldet i de enkelte gulvvarme kredse. Med en lille pumpeeffekt og kald på varme fra mange kredse risikerer man at vandet kun strømmer ud i kredse med mindst trykfald. Dette problem kan afhjælpes med en pumpe der automatisk regulerer til den nødvendige hastighed (f.eks. type Grundfoss Alpha+). Denne pumpe har dog et forbrug på minimum 25 W og op til 60 W og den energimæssige gevinst ved at anvende en sådan pumpe er derfor umiddelbart tvivlsom (medmindre man sammenligner med en UPS pumpe indstillet på det traditionelle trin 3).

Elforbruget til cirkulationspumper er generelt betydeligt i enfamiliehuse, hvilket målingerne dokumenterer, og det er altså tvivlsomt om der kan opnås en besparelse ved at anvende såkaldte sparepumper. Der er derfor et behov/marked for udvikling af små cirkulationspumper med væsentligt lavere energiforbrug, især set i lyset af de kommende skærpede energikrav til nybyggeri.

### **2.2.9 Elforbrug til ventilation**

Elforbruget til ventilation udgør en stor del af det samlede elforbrug (18 %), selvom anlægget i starten af måleperioden har kørt med nedsat luftmængde i forhold til luftmængden i de sidste to måneder af perioden, der har svaret til et normalt luftskifte på  $0,5^{-1}$ . Elforbruget svarer til en gennemsnitlig optagen effekt på 104 W. De bedste ventilationsaggregater/ventilatorer på markedet kan levere sidstnævnte luftmængde (og omtrent samme varmegenvinding) med et specifikt elforbrug på  $1000 \text{ J/m}^3$  eller svarende til ca. 1/3 del af elforbruget i det nuværende anlæg ved ens luftmængder.



### 2.2.10 Internt varmetilskud

I dette afsnit redegøres der for interne varmetilskud fra personer, el-apparatur og belysning.

Varmetilskuddet fra personer vurderes ud fra familiens overordnede brug af huset. I Tabel 3 er vist en oversigt over antal personer og opholdstidspunkt samt varmeafgivelse. Varmeafgivelsen er baseret på standardtal ved normal aktivitet, svarende til 100 W for voksne og 50 W for børn. Med de givne forudsætninger kan beregnes et potentielt varmetilskud på 1,29 W/m<sup>2</sup>.

Tabel 3. Opholdstid og varmeafgivelse.

Rum	Antal personer	Opholdstidspunkt	Timer pr. dag	Varmeafgivelse	Varmeafgivelse
				[W pr. person]	[W/m <sup>2</sup> ]
køkken voksen	1	16.00-19.00	3	100	0,09
køkken voksne	1	17.00-19.00	2	100	0,06
køkken barn	2	16.00-18.00	2	50	0,06
stue voksne	2	19.00-23.00	4	100	0,23
stue barn	2	18.00-20.00	2	50	0,06
soveværelse	2	23.00-06.00	7	100	0,40
bad 1	2	06.00-07.00	1	100	0,06
bad 1	2	06.00-07.00	1	50	0,03
bad 2	-	-	-	-	-
vær 1 barn	2	20.00-06.00	10	50	0,29
vær 2	1	16.00-17.00	1	100	0,03
bryggers/entre	-	-	-	-	-
Total					1,29

Størstedelen af elforbruget omsættes til varme. For visse hårde hvidevarers vedkommende går den udviklede varme dog helt eller delvist tabt, og dette gælder bl.a. varme fra komfur, opvaskemaskine, vaskemaskine, aftræks-tørretumbler og udendørs belysning. Der er derfor behov for at foretage vurderinger af hvor meget af den udviklede varme der bliver til potentielt varmetilskud, der kan udnyttes til rumopvarmning.

Der foreligger ikke umiddelbart veldokumenterede undersøgelser af hvor meget varmespild der er fra diverse hvidevarer mv. Der findes dog overslagsmæssige angivelser i [1], hvor der anføres at der i gennemsnit kan regnes med at 60-70 % af det samlede elforbrug til apparatur (ekskl. belysning) bliver til potentielt varmetilskud i boliger.

Elforbruget i vaskemaskiner går til opvarmning af vaskevand, til motoren og lidt til styring/automatik. El til motoren udgør ca. 10-20 %. Elforbruget til en typisk vask af 5 kg tøj ved 60 °C er ca. 1 kWh. En sådan vask varer ca. 2 timer og består typisk af en times vask med varmt vand og 1 times skyld med koldt vand. Varmetilskuddet fra en typisk vask vil derfor udgøres af motorvarmen og den varmeafgivelse der kommer fra vaskemaskinen i løbet af den første time. Det vurderes på denne baggrund at det potentielle varmetilskud er ca. 40 %. Det samme antages for opvaskemaskiner.

---

Der findes to typer tørretumblere; aftræk og kondens. Aftrækstumblere bruger rumluften (mellem 40 og 200 m<sup>3</sup> luft i timen), så der skal tilføres en tilsvarende mængde frisk luft til rummet og der er behov for et aftræk til det fri. Kondenstumbleren kræver ikke aftræk, da det meste af den fugtige luft kondenseres og ledes til en beholder eller afløb i gulvet. Ved udkondensering af vasketøjets vand frigøres en varmemængde der er identisk med fordampningsvarmen og kondenstørretumblere giver derfor et væsentligt større varmetilskud end aftrækstørretumblere. Elforbruget til tørring af 5 kg tøj er typisk 2,5 – 4 kWh. Elforbruget til motoren er det samme som for en vaskemaskine, hvorfor langt det største effektoptag sker i varmelegemet i tumbleren. Det må antages at der stort set ikke er noget potentielt varmetilskud fra aftrækstumblere, mens ca. 100 % af kondenstumbleres elforbrug bliver til varmetilskud.

Den udviklede varme fra komfur (ovn og kogeplader) vil i nogen grad blive fjernet via. emhætte eller via udsugningsventiler i eventuelle mekaniske ventilationsanlæg. Moderne komfurer er ofte forsynet med flere lag varmereflekterende/-isolerende glas i frontlågen og 3-5 cm isoleringsmateriale og i de øvrige flader, hvilket mindsker varmetabet til rummet og forøger ventilationstabt via. emhætte ift. ældre komfurer. For typiske komfurer vurderes det at 50 % af elforbruget bliver til potentielt varmetilskud.

Varmetilskud fra ventilationsanlæggets ventilatorer og styringselektronik indregnes i temperaturvirkningsgraden.

På baggrund af ovennævnte varmespilds-procenter, kan der beregnes et potentielt varmetilskud fra el-apparatur og belysning på 3,00 W/m<sup>2</sup>.

### **2.2.11 Sammenfatning af måleresultater**

Måleresultater vedrørende varmemålingerne sammenfattes for måleperioden 24/9-2004 til 4/5-2004 (224 dage), og for en delperiode svarende til de sidste 64 dage. Denne delperiode benyttes til eftervisning af det målte varmeforbrug og til vurdering af varmeforbruget i baderum og bryggers samt varmetabet fra varmeinstallationen. Grunden til at kun de sidste 64 dage er udvalgt til nærmere analyser skyldes problemer med ventilations- og varmeanlægget samt manglende solmålinger for den første del af måleperioden.

I Tabel 4 er resumeret måleresultater for de to omtalte måleperioder.

Tabel 4. Sammenfatning af varmerelaterede måleresultater for hele måleperioden (224 dage) og den sidste del af perioden (64 dage).

	Måleperiode	Delperiode
	24-09-2003 – 04-05-2004	02-03-2004 – 04-05-2004
Udetemperatur [°C]	4,4	5,5
Indetemperatur [°C]	22,1	22,6
Solindfald	Mangelfulde soldata	Komplette soldata
Virkningsgrad VGV, veksler [%]	52	84
Virkningsgrad VGV, system [%]	60	92
Luftskifte mekanisk [h <sup>-1</sup> ]	ustabil/ukendt	0,5
Luftskifte infiltration [h <sup>-1</sup> ]	(0,15)	(0,15)
Internt varmetilskud [W/m <sup>2</sup> ]	4,29	4,29
Varmetab varmeinstallation [W/m <sup>2</sup> ]	(2,50)	(2,50)
Rumopvarmning <sup>1)</sup> [kWh]	3633	580
Middeltemperatur gulvvarme [°C]	36	33
Varmt brugsvand [kWh]	1780	610
Leveret varme [kWh]	8549	2131

<sup>1)</sup> Alle rum undtagen baderum og bryggers.

Det gennemsnitlige luftskifte ved infiltration gennem utætheder i klimaskærmen er tidligere vurderet til 0,15 h<sup>-1</sup> på baggrund af trykprøvninger på andre huse og vurderinger af tætheden af de konkrete samlinger mm.

El-forbruget er målt i perioden 18/10-2003 til 30/4-2004. Det målte forbrug i perioden kan på simpel vis opskaleres til et årsforbrug på 5133 kWh, hvoraf 32 % går til drift af varme- og ventilationsanlæg samt emhætte, 36 % til hårde hvidevarer og det resterende apparatur bruger 32 %.

Procent-andelen af el-forbruget til apparatur med varmespild, der potentielt kan nyttiggøres til rumopvarmning, svarende til vask/opvask, tørretumbler (kondens) og komfur er vurderet til hhv. 40 %, 100 % og 50 %.

Varmetabet fra varmeinstallationen er vurderet til ca. 2,5 W/m<sup>2</sup>.

### 2.2.12 Målinger af varmeforbrug sammenlignet med detaljerede beregninger

I dette afsnit redegøres der for detaljerede simuleringer af opvarmningsbehovet i ovennævnte delperiode (64 dage). Beregningerne foretages i bygningssimuleringsprogrammet BSIM 2002 [2], hvor formålet er eftervisning af det målte varmeforbrug og validering af beregningsmodellen. Beregningerne skal samtidig fastlægge varmeforbruget i baderum og bryggers og varmetabet fra varmeinstallationen, idet der sammenlignes med målingerne. Der foretages også på baggrund af målingerne simuleringer og analyser af opvarmningsbehovet på årsbasis.

Der er opbygget en detaljeret beregningsmodel af huset, og måleresultater er implementeret, herunder det målte udeklima. Den transmitterede solstråling gennem vinduer afhænger i BSIM desværre af vægtykkelsen, idet programmet antager ruden placeret i niveau med ydervæggens inderside. Da vægtykkelsen for det aktuelle hus er ca. 45 cm og vinduer/døre næsten er placeret helt ude i facaden, vil skyggeeffekten være betydelig, og det er derfor nødvendigt at korrigere for dette.

Der er derfor udført en beregning med en vægtykkelse svarende til afstanden fra ydersiden af facaden til rudens yderside, for at fastlægge hvor meget solindfaldet forøges. Dette bidrag medtages i modellen med de rigtige vægge ved at justere op på solenergitransmittansen for ruden. Skygger fra det omgivende terræn, bebyggelse og beplantning vurderes at være ubetydelige og medtages derfor ikke i modellen. Der er regnet med at 10 % af solstrålingen (standardværdi), som passerer ruden, umiddelbart bliver reflekteret tilbage gennem ruden eller på anden måde går tabt. Denne andel skønnes at være realistisk på baggrund af udformningen af vindueslysninger og brug af persienner mm.

De målte rumtemperaturer modelleres ved at tilpasse setpunktstemperaturen for opvarmning, så de målte middeltemperaturer opnås. Alle rum undtagen de to baderum betragtes under ét, dvs. modelleres med samme setpunktstemperatur, da de målte temperaturer i disse rum er omtrent ens. Baderum påtrykkes separate setpunktstemperaturer, således at de målte og relativt højere middelindetemperaturer i disse rum opnås i simuleringsperioden. Der modelleres udluftning svarende til et luftskifte på  $5 \text{ h}^{-1}$ , når indetemperaturen er  $4^\circ\text{C}$  større end setpunktstemperaturen. Det interne varmetilskud medtages detaljeret baseret på de udførte elmålinger.

Der gennemføres en simuleringsperiode på 64 dage, svarende til den ovennævnte periode som er målt. Resultatet af denne beregning fremgår af Tabel 5.

Tabel 5: Beregnet energibalance for perioden 2/3-2004 til 4/5-2004 (BSIM 2002).

Energibalance	[kWh]	Bemærkninger
$Q_{\text{opv}}$ Energiforbrug til rumopvarmning	925	Heraf 338 kWh i baderum og bryggers og 587 kWh i øvrige rum
$Q_{\text{inf}}$ Nettobidrag ved infiltration	-362	
$Q_{\text{udl}}$ Varmetab ved udluftning	-362	Heraf 360 kWh i bryggers
$Q_{\text{sol}}$ Energi tilført ved solindfald	867	
$Q_{\text{pers}}$ Varme tilført fra personer	288	
$Q_{\text{udst}}$ Varme tilført fra udstyr mm.	1229	Inkl. 556 kWh varmetab fra varmeinstal.
$Q_{\text{trans}}$ Trans. tab via klimaskærm	-2356	
$Q_{\text{mix}}$ Vent. tab til naborum	-134	
$Q_{\text{vent}}$ Vent. tab via ventilationsanlæg	-94	

Det ses af Tabel 5 at der er beregnet et opvarmningsbehov på 925 kWh i perioden, fordelt med 338 kWh i baderum og bryggers og 587 kWh i de øvrige rum. Varmetabet fra varmeinstallationen er i beregningerne sat til  $2,5 \text{ W/m}^2$  svarende til 556 kWh i perioden.

Sammenligner man det beregnede opvarmningsbehov i ”øvrige rum” på 587 kWh med det målte varmeforbrug på 580 kWh (se Tabel 4), ses det at der er særdeles god overensstemmelse. Det skal bemærkes at enkelte parametre i modellen er lidt usikre, hvilket gælder varmetilskud fra personer og varmetab ved infiltration, og det er muligt at varme fra personer og infiltration af udeluft har været lidt større, men dette vil omtrent opveje hinanden. Det kan konkluderes at modellen altså samlet set giver en meget fornuftig vurdering af huset opvarmningsbehov. Dermed må det antages at også det beregnede opvarmningsbehov i baderum/bryggers med god nøjagtighed svarer til varmeforbruget i disse rum, der som nævnt ikke er målt separat.

Opvarmningsbehovet i baderum/bryggers er beregnet til 338 kWh svarende til hele 37 % af det samlede varmeforbrug til rumopvarmning. Heraf har der i perioden ikke været et varmebehov i

---

bryggers pga. et meget stort internt varmetilskud. De to baderum, der kun udgør 10 % af gulvarealet, forbruger altså 37 % af det samlede varmeforbrug til rumopvarmning. Dette hænger nøje sammen med den høje målte indetemperatur i det badeværelse (25,6 °C), der støder op til soveværelset, samt et meget lille internt varmetilskud og tilskud fra solindfald i de to rum, som kun udgør 3,5 % af det samlede el- og personrelaterede varmetilskud i perioden. Der er i øvrigt målt en middeltemperatur på 22,2 °C i det tilstødende nordvendte soveværelse, hvor der har været slukket for varmen, hvilket indikerer en betydelig varmeoverføring mellem især badeværelse og soveværelse, men også mellem stue og soveværelse pga. bl.a. udsugningen i badeværelset.

Det er afgørende for energiforbruget, når der ønske en temperaturdifferentiering mellem enkelte rum med gulvvarme, at varme kan afsættes i det ”varme” rum uden at varmen overføres til de øvrige rum. Dette kan gøres ved at vælge en god isoleringsevne af skillevæggene, at forhindre varmeoverføring via betonpladen til andre rum ved at indstøbe en isoleringsstrimmel i periferien af det varme rum, at isolere også gulvvarmeslanger der fremføres gennem gulv i rum, de ikke skal opvarmes samt at holde døre lukket til varme rum, hvilket især er vigtigt i sommerperioden, hvor der almindeligvis er mindre fokus på at holde døre og vinduer lukkede. I det konkrete hus er det kun isoleringen af skillevægge som lever op til retningslinierne (stålskelet med 50 mm isolering og to lags gips på begge sider). Til orientering er bl.a. problematikken omkring varmeoverføring mellem rum behandlet i et nyligt afsluttet projekt om analyse af bygninger med gulvvarme og radiatorer [3].

Da det samlede varmeforbrug til rumopvarmning nu er fastlagt, kan der foretages en kontrol af det forudsatte varmetab fra varmeinstallationen på 2,5 W/m<sup>2</sup>, som kan udledes ud fra det samlede målte varmeforbrug fratrukket forbruget af varmt brugsvand og det målte (beregnete) varmeforbrug til rumopvarmning, hvorved der fås et varmetab på 603 kWh eller 2,7 W/m<sup>2</sup>. Det ses at der er god overensstemmelse mellem det forudsatte og målte varmetab i måleperioden svarende til de sidste par måneder af fyringssæsonen. Da varmetabet er noget mindre i sommerperioden og alt andet lige lidt større i de koldeste vinterperioder pga. højere fremløbstemperatur fra værk, antages der et gennemsnitligt varmetab på 2,5 W/m<sup>2</sup> set over hele året.

Energiforbruget til rumopvarmning i fyringssæsonen 2003/2004, har som sagt været påvirket af uoptimale indstillinger af varme- og ventilationsanlæggene i især starten af perioden, som har forårsaget et væsentligt forøget varmeforbrug. For at korrigere for disse uhensigtsmæssige forhold er der med udgangspunkt i beregningsmodellen foretaget simuleringer af opvarmningsbehovet på årsbasis for en model der til dels afspejler målingerne i den sidste del af fyringssæsonen, dels afspejler hvad der f.eks. er en hensigtsmæssig fremløbstemperatur på gulvvarmen.

Sammenligner man måleresultaterne for hele måleperioden med de forventede forhold, svarende til normale beregningsforudsætninger, giver dette anledning til følgende kommentarer:

- Der er målt en væsentligt højere indetemperatur (22,1 °C) end svarende til normale beregningsforudsætninger (20 °C).
- Der er målt/opgjort et mindre internt varmetilskud fra personer, el-apparat og belysning (4,29 W/m<sup>2</sup>) end svarende til normale beregningsforudsætninger (5 W/m<sup>2</sup>).
- Der er målt en højere temperaturer i gulvvarmeslangerne (ca. 36 °C) end forventet (30 °C).
- Der er målt en væsentligt lavere temperaturvirkningsgrad i ventilationsanlægget (ca. 60 %) end forventet (90 %).
- Der er antaget et større luftskifte ved infiltration (0,15 h<sup>-1</sup>) end forventet (0,10 h<sup>-1</sup>).
- Der er målt en lidt højere udetemperatur (4,4 °C) end forventet (3,4 °C svarende til DRY).

Alle ovennævnte forhold undtagen den sidstnævnte giver anledning til et større opvarmningsbehov end forventet/beregnet.

Opvarmningsbehovet er for det første beregnet for en model, der svarer til de forventede forhold (oprindelig model). Desuden er opvarmningsbehovet beregnet for en model baseret på målingerne, men med en nedjusteret gulvvarmetemperatur (30 °C) og en opjusteret temperaturvirkningsgrad på 92 %, der blev målt i den sidste del af perioden, hvor ventilationsanlægget fungerede hensigtsmæssigt og med balancerede luftmængder. Der anvendes målte udeklimadata. Soldata fra den pågældende lokalitet foreligger dog ikke for den første del af perioden (frem til 10/12-2003), så for denne periode anvendes soldata fra DTU målestation i Lyngby. Betydningen af indetemperaturen undersøges, idet det beregnes hvor meget varmeforbruget kunne være reduceret, under antagelse af et setpunkt for indetemperaturen på 20°C.

Det skal bemærkes at der i beregninger er medtaget varmetabet fra varmeinstallationen, så der derved på detaljeret vis er beregnet hvor meget af denne varmeafgivelse der nyttiggøres.

Tabel 6: Beregnet energibalace for perioden 24/9-2003 til 4/5-2004.

Energibalace		Oprindelig model <sup>1)</sup>	Målt 1 <sup>2)</sup>	Målt 2 <sup>3)</sup>	Målt 3 <sup>4)</sup>
		[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Q <sub>opv</sub>	Energiforbrug til rumopvarmning	2756	4680	3856	3744
Q <sub>inf</sub>	Nettobidrag ved infiltration	-879	-1307	-1221	-1304
Q <sub>udl</sub>	Varmetab ved udluftning	-963	-940	-1006	-1127
Q <sub>sol</sub>	Energi tilført ved solindfald	2010	1712	1712	2010
Q <sub>pers</sub>	Varme tilført fra personer	0	1009	1009	1009
Q <sub>udst</sub>	Varme tilført fra udstyr mm.	5848	4301	4301	4301
Q <sub>trans</sub>	Trans. tab via klimaskærm	-7939	-8598	-8118	-8099
Q <sub>mix</sub>	Vent. tab til naborum	-170	-517	-209	-190
Q <sub>vent</sub>	Vent. tab via ventilationsanlæg	-663	-339	-323	-344

<sup>1)</sup> Baseret på normale beregningsforudsætninger, herunder et internt varmetilskud på 5 W/m<sup>2</sup>, rumtemperatur på 20 °C, mekanisk ventileret luftmængde på 60 l/s svarende til krav i BR1995, en infiltration på 0,10 h<sup>-1</sup> og et udeklima svarende til det Danske Design Reference År (DRY). Varmetilskud fra personer og varmeinstallation er inkluderet i ”varme tilført fra udstyr mm”.

<sup>2)</sup> Baseret på målingerne, men korrigeret mht. gulvvarmetemperatur og temperaturvirkningsgrad af ventilation med varmegenvinding. Setpunktet for indetemperaturen er i modellen valgt så middeltemperaturen for måleperioden svarer til den målte middeltemperatur på 22,1 °C.

<sup>3)</sup> Som model målt 1, men med indetemperatur (setpunkt) på 20 °C.

<sup>4)</sup> Som model målt 1, men med indetemperatur (setpunkt) på 20 °C og udeklima svarende til DRY.

Det fremgår af model Målt 1 i Tabel 6, at energiforbruget til rumopvarmning på basis af målingerne kan beregnes til 4680 kWh, eller 3335 kWh når der ses bort fra baderum og bryggers. Andelen af det samlede energiforbrug for baderum/bryggers er 29 %. Der er målt et energiforbrug ekskl. baderum/bryggers på 3633 kWh, hvilket er lidt større end det beregnede behov. I modellen er der, som omtalt tidligere, forudsat en mindre gulvvarmetemperatur, en større varmegenvinding, men også en større luftmængde end der forekom i starten af måleperioden. På denne baggrund er der umiddelbart god overensstemmelse mellem beregninger og målinger, når også hele måleperioden betragtes.

---

Energiforbruget for den oprindelige model, svarende til normale beregningsforudsætninger, er væsentligt mindre end det målte energiforbrug, hvilket primært skyldes en betydeligt lavere indetemperatur, større solindfald, mindre infiltrationstab og et større internt varmetilskud.

Konsekvensen af et setpunkt for indetemperaturen på 20 °C er undersøgt med model Målt 2. Beregningen viser at energiforbruget derved vil kunne reduceres med 18 %. Den gennemsnitlige indetemperatur i model Målt 2 er 20,6 °C, mens den er 22,1 °C i model Målt 1. Der er således tale om en besparelse i energiforbruget på 12 % pr. grad nedsat indetemperatur.

Når der både inde- og udeklimakorrigeres (model Målt 3), reduceres energiforbruget med 20 %.

## 2.3 Målinger sammenholdt med forventede krav til bruttoenergiforbrug

I forbindelse med indførelse af skærpede krav i Bygningsreglementet til energiforbruget i bygninger bliver der indført krav om overholdelse af en energiramme, der for boliger vil omfatte det samlede behov for tilført energi til dækning af varmetab, ventilation, eventuel køling og varmt brugsvand (jf. udkast til nye energibestemmelser [4]), der også kan udtrykkes som boligens samlede energiforbrug på nær elforbrug til apparater og belysning. Energiforbruget til dækning af dette energibehov benævnes bruttoenergiforbruget. De ændrede bestemmelser indføres i år 2005 (efter en høringsperiode frem til 1. september 2004), og vil efter en overgangsperiode være permanent gældende fra 1. januar 2006. Eftervisning af at bestemmelserne er overholdt vil for boliger således i fremtiden skulle baseres på beregninger af energiforbrug til rumopvarmning, eventuel køling, varmt brugsvand, energitab i kedler og varmtvandssystemer samt elforbrug til pumper og ventilatorer.

Energirammen angiver et mindstekrav. Med de nye energibestemmelser er der samtidig er lagt op til en klassificering af lavenergibygninger svarende til bygninger hvor energiforbruget ikke overstiger 75 pct. (klasse 2) og 50 pct. (klasse 1) af energirammen.

Det vil være interessant at sammenholde de målte energiforbrug med de forventede krav til bruttoenergiforbruget. For boliger udtrykkes energirammen således:

$$(260 + \frac{8000}{A}) \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ pr. år.}$$

hvor A er det opvarmede etageareal.

Energirammen for det konkrete hus er således:

$$(260 + \frac{8000}{145}) \text{ MJ} / \text{m}^2 = 316 \text{ MJ} / \text{m}^2 = 12694 \text{ kWh}$$

I nedenstående Tabel 7 er opgjort bruttoenergiforbruget for huset baseret på målingerne. Energiforbrug til rumopvarmning er målt i langt størstedelen af fyringssæsonen inklusiv hele vinterperioden, hvor det største forbrug ligger, og derfor antages dette forbrug at repræsentere det årlige forbrug til rumopvarmning. Energiforbruget til varmt brugsvand antages at være det samme i årets øvrige måneder som gennemsnittet af forbruget i måleperioden. Årsnyttevirkningen for varmeanlægget kan, da der er tale om et fjernvarmeanlæg, sættes til 100 %.

Tabel 7. Bruttoenergiforbruget baseret på målinger i perioden 24/9-2003 til 4/5-2004. Alle tal-angivelser er i kWh/år. El-behov indgår med en primærenergifaktor på 2,5 ved opgørelse af bruttoenergiforbruget.

Varme- og el-behov	Energiforbrug	Energiforbrug primærenergi	Bemærkninger/forudsætninger
Rumopvarmning	4680	4680	
Varmt brugsvand	2900	2900	
Varmetab fra varmeinstal.	3176	3176	Varmetab fra varme- og varmtvandsrør samt varmtvandsbeholder: 363 W (2,5 W/m <sup>2</sup> ).
El til varmeanlæg	197	491	Cirk.pumpe (Grundfos UPS) på trin 1 (30 W). I drift i fyr. sæsonen (sept – maj inkl.)
El til ventilation	911	2278	DC-ventilatorer, luftskifte på 0,5 h <sup>-1</sup> (104 W). I drift hele året.
I alt		13525	Energiramme: 12694 kWh/år

Det ses at bruttoenergiforbruget for det konkrete hus er målt til 13525 kWh pr. år, hvilket svarer til 107 % af energirammen. Der er altså realiseret et bruttoenergiforbrug, der er 7 % større end energirammen på trods af at husets klimaskærm er meget velisoleret og udstyret med et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding. Dette hænger naturligvis bl.a. sammen med at de målte forhold afviger væsentligt fra de beregningsforudsætninger der skal benyttes ved eftervisning af at energirammen er overholdt. Disse beregningsforudsætninger foreskriver at opvarmede rum antages at holde en månedlig gennemsnitstemperatur på mindst 20 °C i alle årets måneder og at der som udeklima anvendes DRY. Der foreskrives herudover et årligt forbrug af varmt brugsvand på 0,25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> etageareal, som under antagelse af opvarmning fra 10 °C til 55 °C svarer til 1883 kWh (det målte forbrug er 2900 kWh). Der stilles ligeledes krav til at elforbruget i ventilationsanlæg med varmegenvinding ikke overstiger 1200 J/m<sup>3</sup>.

Varmeinstallationen skal isoleres efter gældende regler (DS 452), men er det ikke, hvilket er helt almindeligt i dagens nybyggeri. Varmetabet kan ved forholdsvis simple isoleringstiltag reduceres betydeligt. Det vurderes at isolering af varmeinstallationen med støbte isoleringsskåle til relevante komponenter (shunt-aggregat, pumpe og rør mv.) vil kunne reducere det målte varmetab til en tredjedel. Det antages at dette væsentligt reducerede varmetilskud i bryggers ikke vil påvirke varmeforbruget til rumopvarmning, idet der i størstedelen af fyringssæsonen vil være et større varmetilskud end –tab.

Med de givne forudsætninger kan der beregnes et bruttoenergiforbrug som angivet i Tabel 8.



Tabel 8. Bruttoenergiforbruget baseret på målinger samt beregningsforudsætninger i udkast til nye energibestemmelser vedrørende inde- og udeklima, varmt brugsvand og elforbrug i ventilationsanlæg med varmegenvinding. Alle tal-angivelser er i kWh/år. El-behov indgår med en primærenergifaktor på 2,5 ved opgørelse af bruttoenergiforbruget.

Varme- og el-behov	Energiforbrug	Energiforbrug primærenergi	Bemærkninger/forudsætninger
Rumopvarmning	3744	3744	
Varmt brugsvand			0,25 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> opvarmet etageareal. Opvarmet fra 10 til 55 °C.
Varmetab fra varmeinstal.	1883	1883	
	1058	1058	Isoleret varmeinstallation. Varmetab 121 W (0,83 W/m <sup>2</sup> ).
El til varmeanlæg	197	491	Cirk.pumpe (Grundfos UPS) på trin 1 (30 W). I drift i fyr. sæsonen (sept – maj inkl.)
El til ventilation	412	1029	Lavenergi-ventilatorer. 1200 J/m <sup>3</sup> = 47 W v. luftskifte på 0,5 h <sup>-1</sup> . I drift hele året.
I alt		8206	Energiramme: 12694 kWh/år

Det ses af Tabel 8 at bruttoenergiforbruget for huset kan opgøres til 8029 kWh eller 65 % af energirammen, når målingerne korrigeres for beregningsforudsætninger i udkast til energibestemmelser. Huset kan således klassificeres som et lavenergihus i klasse 2, da energiforbruget udgør under 75 pct. af energirammen. Hvis det antages at husets varmeinstallation isoleres lidt bedre endnu, så det ikke nyttiggjorte varmetab yderligere halveres, og der samtidig installeres et solvarmeanlæg til varmt brugsvand med en typisk dækningsgrad på 70 %, vil bruttoenergiforbruget kunne reduceres til 50 % af energirammen svarende til et lavenergihus i klasse 1.

---

### 3 ELFORBRUGETS BETYDNING FOR VARMEFORBRUGET

Størstedelen af elforbruget i boliger omsættes til varme der potentielt kan nyttiggøres til rumopvarmning. Hvis man nedsætter elforbruget ved at bruge lavenergiprodukter, vil det forøge energiforbruget til rumopvarmning. Betydningen af et lavere elforbrug undersøges i det følgende.

I boliger falder en del af den el-relaterede varme (og personvarme) på tidspunkter, hvor der ikke er behov for varme, men i typiske husstande med udearbejdende voksne vil en stor del af el-forbruget ligge i aften timerne, hvor der ofte er et varmebehov, idet der ikke er varmetilskud fra solindfald og samtidig et større transmissionstab (lavere udetemperaturer end om dagen). Dette giver umiddelbart en god udnyttelse af det el-relaterede varmetilskud i store dele af fyringssæsonen. Omvendt vil en væsentlig bedre isolering og ventilation med varmegenvinding mv. i fremtidens huse, indebærer en kortere fyringssæson og alt andet lige en mindre udnyttelse af ”el-varmen”.

Det skal bemærkes at brændselsforbruget til konventionel el-produktion er flere gange større end til varmeproduktion, hvilket betyder at marginalprisen på el er ca. tre gange så høj som på varme. Da det el-relaterede varmetilskud ikke kan udnyttes fuldt ud, vil den økonomiske gevinst ved el-besparelser være flere gange større end den stigende udgift til varme.

Elforbrugets konkrete betydning for varmekonsumet i det aktuelle hus, undersøges nærmere i det følgende.

#### 3.1 Metode/fremgangsmåde

Der tages udgangspunkt i en beregningsmodel (grundmodel) af det aktuelle hus, hvor der anvendes typiske randbetingelser, svarende til det danske design reference år (DRY) og et normalt setpunkt for indetemperatur på 20 °C. Det interne varmetilskud baseres på målinger/erfaringer fra måleperioden, svarende til brugsmønstret for en almindelig familie i dagens Danmark. Denne beregning sammenlignes med en beregning på en ”el-spare-model”, hvor det mest oplagte apparatur og belysningsarmaturer udskiftes med de bedste lavenergiprodukter på markedet. Ved at sammenligne ændringen i varmekonsumet med ændringen i det potentielle varmetilskud fra elforbrug, kan sammenhængen mellem forbruget af el og varme belyses. Fyringssæsonen defineres som månederne september til maj (inkl.).

Da effekten på varmekonsumet afhænger af en række parametre der ikke er konstante, foretages der derfor en række parametervariationer, som der er redegjort for i Tabel 9 og nedenfor.

Tabel 9. Oversigt over variationer på parametre af væsentlig betydning for varmekonsumet til rumopvarmning.

Parameter	Reference	Parametervariation
Setpunkt indetemperatur	20 °C	21, 23 °C
Klimadata	DRY	Koldt forår/efterår <sup>1)</sup>
Ventilation	Balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding	Naturlig ventilation
Orientering	Sydvendt stue	Vestvendt

<sup>1)</sup> Defineres i denne sammenhæng som månederne april, maj, september, oktober og november.

---

Det fremgår af Tabel 9, at to højere temperaturniveauer undersøges. Det første er 21 °C, som i praksis er den typiske komforttemperatur. Det andet og noget højere niveau er 23 °C, hvilket må betragtes som sjældent, og som primært vil kunne forekomme i huse med småbørnsfamilier.

Variation mht. klimadata foretages ud fra et bud på et koldt forår og efterår i Danmark og består af de fem måneder april, maj, september, oktober og november, udvalgt fra de 15 års vejrdata, der er grundlag for DRY, idet månederne med lavest middeltemperatur i perioden 1975-1989 benyttes. I Tabel 10 er således vist hvilke år det andet klimasæt består af samt middeludetemperaturer for disse måneder og de tilsvarende måneder i DRY.

Tabel 10. Koldeste måneder i fyringssæsonens overgangsperioder udvalgt fra de 15 års vejrdata, der ligger til grund for DRY. Til sammenligning er vist månedsmiddeltemperaturen i DRY.

Måned	År	Koldeste måned [°C]	DRY [°C]
April	1986	4,1	5,6
Maj	1987	9,2	11,3
September	1986	10,0	12,5
Oktober	1979	7,9	9,1
November	1985	1,9	4,8

Det skal bemærkes at der i det ”kolde” referenceår naturligvis indgår tilhørende soldata for de udvalgte måneder, hvilket ikke nødvendigvis vil betyde et større varmebehov (eller bedre udnyttelse af det interne varmetilskud), da solindfaldet kan være større end i DRY.

Med hensyn til ventilation foretages en variation svarende til anvendelse af naturlig ventilation frem for ventilation med varmegenvinding. I tilfældet med varmegenvinding er antaget en temperaturvirkningsgrad på 80 % og by-pass af udeluft ved udetemperaturer over 16 °C. Luftmængden er sat til 0,6 gange i timen svarende til 0,1 til infiltration og 0,5 til mekanisk ventilation eller kontrollerbar naturlig ventilation. Luftmængden ved mekanisk ventilation er derved ikke iht. gældende regler, hvor den krævede luftmængde pga. krav til udsugning fra køkkener, baderum og bryggere er væsentligt større for det aktuelle hus, men det kan i forbindelse med de nye energibestemmelser forventes at de krævede luftmængder harmoniseres, så de er de samme uanset om der anvendes naturlig ventilation eller mekanisk ventilation, og svarende til de ovenfor nævnte, idet diverse undersøgelser og erfaringer viser at et konstant luftskifte på 0,5 er tilstrækkeligt til at opretholde et tilfredsstillende indeklima.

Betydningen af en orientering af husets stuefacade mod vest undersøges, idet husets stuefacade som udgangspunkt er antaget sydvendt. En parametervariation svarende til en nordvendt stuefacade, ville umiddelbart også være relevant, men denne situation forekommer kun sjældent i praksis.

Derudover undersøges et ”best case scenario” mht. udnyttelse af det el-relaterede varmetilskud, hvor der simuleres med en indetemperatur på 23 °C, anvendes klimadata med koldt for-/efterår, naturlig ventilation (ingen varmegenvinding) og hvor stue og køkken/alrum antages vestvendt.

Det antages at varmeinstallation er delvist isoleret, således at der regnes med et varmetab/-tilskud på en tredjedel af det målte.

---

## 3.2 El-besparelser

I dette afsnit redegøres for hvor meget elforbruget kan reduceres ved brug af de bedste og mest energieffektive produkter. Udredningen er baseret primært på oplysninger fra Elsparefondens Sparel-sider på nettet og offentliggjorte resultater fra testlaboratoriet i forbrugernes hus. De meste oplagte besparelsetiltag vedrører udstyr med stort effektforbrug og/eller lang driftstid svarende til hårde hvidevarer, Tv-apparatur, pumper og ventilatorer samt belysning.

### 3.2.1 Ventilationsanlæg

Ventilationsanlæg med varmegenvinding i enfamiliehuse kan udformes med et specifikt elforbrug til lufttransport på  $500 \text{ J/m}^3$ , hvilket er konklusionen på et projekt om udvikling af et energieffektivt ventilationsaggregat, jf. [5]. Dette elforbrug svarer til et effektoptag på 19 W ved et luftskifte på 0,5 gange i timen.

### 3.2.2 Cirkulationspumpe

De antages for sandsynligt at de bedste sparepumper på markedet i løbet af den nærmeste fremtid vil have et årsmiddeleffektoptag på 20 W, når de installeres i et velisoleret hus med et beskedent behov for varmetilførelse. Den mest almindeligt anvendte cirkulationspumpe (Grundfos UPS) har tre hastigheder med manuel omskiftning med et effektoptag på 30 – 60 W.

### 3.2.3 Køle/frys

I nærmeste fremtid indføres en A+/A++ mærkningsordning for køle/frys produkter. Produkter der kan henføres til klasse A++ udgør kun få procent af det nuværende marked.

Den nuværende fryseboks er et gammel energiklasse F produkt. Der findes ikke et A++ produkt i den aktuelle størrelse (304 liter), men det kan forventes at et sådan snart kommer på markedet og elforbruget må forventes at ligge 150 kWh/år. Køle/svaleskabet er et klasse A produkt med et målt forbrug på 172 kWh/år. Endnu findes der kun A+ produkter, men i kommende fremtid kan forventes A++ produkter, der for den aktuelle størrelse (314 liter) vil have et elforbrug på ca. 100 kWh/år.

### 3.2.4 Belysning

Der forslås følgende energimæssige forbedringer af belysningen (jf. Tabel 11):

Tabel 11. Oversigt over lyskildetyper og deres effektoptag. Der er behov for en tilpasning af sparepærens mærkeeffekt, når glødepærer erstattes af sparepærer, hvilket der er taget højde for.

Lyskildetype	Antal [stk]	Som opført [W]	Bedst på markedet [W]
Glødelampe40	3	40	11
Lavvoltage, halogen20	16	20	20
Lavvoltage, halogen35	4	35	20
Lavvoltage, halogen50	9	50	20

### 3.2.5 TV-apparater

De bedste TV apparater på markedet har et effektoptag i drift på ca. 60 W og et standby-forbrug på under 1 W.

---

### 3.2.6 Vaskemaskine og tørretumbler

Den nuværende A-mærkede vaskemaskine har på grundlag af standardtest for 60°C-normalprogram et elforbrug på 0,95 kWh/vask (tidsforbrug ca. 2 timer), mens de bedste A-mærkede vaskemaskiner på markedet har et elforbrug på 0,66 kWh/vask. Det antages at normalprogrammet er repræsentativt for elforbruget ved vaskemaskinens normale brug, og på den baggrund kan elforbruget reduceres med ca. 30 %.

Den nuværende C-mærkede kondentumbler har på grundlag af standardtest for normalprogram et elforbrug på 3,50 kWh/portion (tidsforbrug ca. 2 timer), mens de bedste A-mærkede tørretumbler på markedet har et elforbrug på 1,75 kWh/vask. Det antages at normalprogrammet er repræsentativt for elforbruget ved vaskemaskinens normale brug, og på den baggrund kan elforbruget reduceres med 50 %.

På baggrund af forventede årsforbrug for de nuværende produkter og hvor meget elforbruget kan reduceres, skønnes at det samlede forbrug til vaskemaskine og tørretumbler kan reduceres med 43 %.

### 3.2.7 Opvaskemaskine

Den nuværende A-mærkede model har på grundlag af standardtest for normalprogram et elforbrug på 1,05 kWh/vask (tidsforbrug ca. 2 timer), men de bedste opvaskemaskiner på markedet har et elforbrug på 0,80 kWh/vask. Det antages at normalprogrammet er repræsentativt for elforbruget ved vaskemaskinens normale brug, og på den baggrund kan elforbruget reduceres med ca. 24 %.

### 3.2.8 Kogeplader og ovn

Der foreligger ikke testdata på de eksisterende produkter, og det er derfor umiddelbart ikke til at vurdere hvor meget elforbruget vil kunne reduceres ved brug af de bedste produkter på markedet.

## 3.3 Fordeling af det el-relaterede varmetilskud

De skitserede el-besparelser giver anledning til ændrede varmetilskud i de enkelte rum. Fordelingen af varmetilskuddet over døgnet foretages som tidligere omtalt på timebasis ud fra de udførte el-målinger (grundmodel). I Tabel 12 er vist fordelingen af det el-relaterede varmetilskud før og efter udskiftning til lavenergiprodukter; opgjort i pct. af det største varmetilskud for hver time på døgnet svarende til 100 %, hvilket er det format BSIM benytter. For ”øvrige rum” er timefordelingen i pct. af det største varmetilskud ens, hvilket dog ikke gælder værdien af det største varmetilskud for de enkelte rum.

Tabel 12. Fordeling af varmetilskud i pct. af største varmetilskud.

Time	Grundmodel				El-spare-model			
	Vær. 2 th.	Bryggers	Køkken	Øvrige rum	Vær. 2 th.	Bryggers	Køkken	Øvrige rum
1	86	61	18	23	71	71	15	23
2	85	61	16	19	70	71	13	19
3	85	61	16	20	70	71	13	20
4	85	61	16	20	70	71	13	20
5	85	61	16	21	70	71	14	21
6	85	63	16	21	70	72	14	21
7	86	64	19	27	72	73	16	27
8	89	67	26	38	77	76	23	38
9	90	79	35	46	80	85	32	46
10	90	82	36	46	80	87	33	46
11	89	86	32	41	78	90	29	41
12	89	94	32	43	78	95	29	43
13	88	86	29	38	76	90	26	38
14	89	91	30	42	78	93	27	42
15	88	96	31	37	76	97	28	37
16	90	84	32	45	79	88	29	45
17	92	100	42	58	84	100	39	58
18	97	94	100	83	94	96	100	83
19	100	85	91	100	100	90	89	100
20	100	96	69	98	99	97	62	98
21	98	84	56	89	96	89	51	89
22	97	78	45	81	93	84	41	81
23	91	74	32	53	82	81	28	53
24	87	64	22	32	74	73	19	32
Varmetilskud = 100 % [W]	90	326	308	235	27	237	287	161

### 3.4 Beregningsresultater

De skitserede oplagte el-besparelser kan forventes at reducere det årlige elforbrug fra 5133 kWh til 2876 kWh (se bilag 3), svarende til en reduktion på 44 %. Det interne varmetilskud fra apparatur og belysning reduceres med 38 % (fra 3,00 W/m<sup>2</sup> til 1,85 W/m<sup>2</sup>).

Hvis der regnes på energiforbruget til rumopvarmning uden og med de skitserede el-besparelser, og med parametervariationer som tidligere omtalt, kan der beregnes energiforbrug og udnyttelsesfaktorer, som vist i Tabel 13. I bilag 4 er specificeret varmebalancer og gennemsnitlige inde- og udetemperaturer for de enkelte beregningsmodeller.

Tabel 13. Beregnede energiforbrug til rumopvarmning for modeller med og uden el-besparelser samt tilhørende udnyttelsesfaktorer for det el-relaterede varmetilskud.

Beregningsforudsætninger	Energiforbrug til rumopvarmning [kWh/m <sup>2</sup> /år]		$\eta_{i,y}$ <sup>1)</sup> [-]	$\eta_{i,h}$ <sup>1)</sup> [-]
	Grundmodel	El-spare-model	Hele året	Fyringssæson
Reference	26,2	31,0	0,49	0,65
INDETEMP21	29,4	34,6	0,52	0,70
INDETEMP23	36,6	42,3	0,58	0,77
KOLDTFOR-/EFTERÅR	28,5	33,9	0,54	0,72
NATURVENT	50,0	55,4	0,54	0,72
VESTVENDT	29,5	34,5	0,50	0,66
BESTCASE	75,6	82,0	0,64	0,85

<sup>1)</sup> Udnyttelsesfaktor for internt varmetilskud =  $\Delta$ Varmeforbrug /  $\Delta$ Varmetilskud

Det fremgår af Tabel 13, at der er stor forskel på de beregnede varmeforbrug. At en del af de undersøgte parametervariationer har så stor effekt på energiforbruget, skyldes at der som udgangspunkt er tale om et særdeles velisoleret hus med et varmeforbrug på omtrent en tredjedel af et tilsvarende opført efter det nuværende bygningsreglement.

Udnyttelsesfaktoren angiver hvor stor en del af det potentielle el-relaterede varmetilskud som nyttiggøres til rumopvarmning. Udnyttelsesfaktoren afhænger især af husets evne til akkumulering af overskudsvarme og forholdet mellem varmetilskud og varmetab. En udnyttelsesfaktor på 0,49 set over hele året, som beregnet for reference-forudsætninger, udtrykker at varmeforbruget forøges med 49 % af det reducerede interne varmetilskud. Sagt på en anden måde; den givne ændring i det interne varmetilskud slår igennem med 49 % på varmeforbruget. Den relativt lille udnyttelsesfaktor set over hele året skyldes bl.a. at varmetilskuddet ikke kan udnyttes i sommerperioden. Ses der kun på fyringssæsonen, er udnyttelsen naturligvis større, svarende til 65 %.

Det konkrete hus er en relativt let konstruktion hvad angår yder- og indervægge i forhold til et hus opført i porebetonelementer eller et fuldmuret hus. Husets evne til varmeakkumulering burde derfor være ringere og udnyttelsesfaktoren mindre end for tungere konstruktioner. Sammenligner man udnyttelsesfaktorerne ovenfor med de tilsvarende for forsøgshuset i Snekkersten, er de også noget mindre for det aktuelle hus, idet Snekkersten-huset udnytter hhv. 53 % i fyringssæsonen og 71 % set over hele året.

Det ses af Tabel 13, at hvis setpunktet for indetemperaturen sættes op, stiger udnyttelsesfaktoren ikke overraskende, og forøgelsen af varmemeforbruget vil derfor være relativt større, når det interne varmetilskud reduceres. Koldere for- og efterårsmåneder har samme effekt, hvilket også gælder, når der ikke benyttes varmegenvinding (model ”naturvent”) samt når solindfaldet mindskes (model ”vestvendt”). For best-case-scenariet mht. udnyttelse af varmetilskuddet, kan beregnes en udnyttelsesfaktor på 0,64 set over hele året.

På baggrund af de udførte parametervariationer kan det konkluderes at varmemeforbruget til rumopvarmning, kan forventes at blive forøget med 49 – 64 % af det reducerede potentielle interne varmetilskud. I praksis vil en udnyttelsesgrad på ca. 55 % kunne forventes.

På baggrund af den beregnede el-besparelse og de øgede varmeudgifter samt forholdet mellem marginalprisen på henholdsvis el og varme, kan beregnes hvor stor en pct. -del af el-besparelsen, der bliver ”spist op” af et stigende varmemeforbrug. Den typiske forbrugermarginalpris på varme er 0,50 kr./kWh, mens den tilsvarende elpris er 1,50 kr./kWh. Der regnes derfor med en faktor 3 på elprisen ift. varmeprisen. Den tilbageværende el-besparelse kan beregnes således:

$$\text{Tilbageværende elbesparelse [\%]} = \frac{\text{elbesparelse} \cdot 3 - \text{ekstra var memeforbrug}}{\text{elbesparelse} \cdot 3} \cdot 100 \%$$

I Tabel 14 er den tilbageværende el-besparelse beregnet. Det fremgår heraf at den resulterende økonomiske gevinst ved el-besparelser er mellem 86 og 90 % af el-besparelsen. Man kan med andre ord sige at varmeregningen forøges med 10-14 % af den totale opnåede reduktion af elregningen. El-besparelser bliver altså kun i beskedent omfang spist op af et stigende varmemeforbrug.

Tabel 14. Tilbageværende el-besparelse i pct. af den totale el-besparelse (i kr.) efter fradrag for effekten af et mindre el-relateret varmetilskud og dermed større varmemeforbrug til opvarmning.

Beregningsforudsætninger	Tilbageværende el-besparelse [%]
Reference	90
INDETEMP21	89
INDETEMP23	88
KOLDTFOR-/EFTERÅR	88
NATURVENT	88
VESTVENDT	89
BESTCASE	86

Det skal bemærkes at den beregnede tilbageværende el-besparelse afhænger af i hvor stor udstrækning man gennemfører el-besparelser på udstyr med varmespild, da varmetilskud og varmemeforbrug derved påvirkes. Større grad af besparelser på udstyr med varmespild giver større grad af tilbageværende el-besparelse.

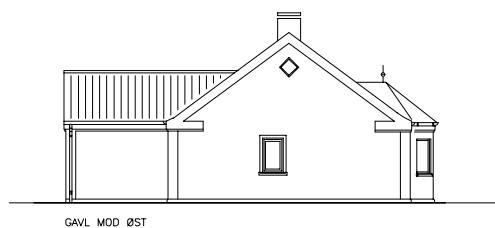


---

## 4 REFERENCER

- [1] SBI Meddelelse 129. Beregning af bruttoenergiforbrug. By og Byg, 2000.
- [2] BSIM2002 (version 3.4.3.16): Et integreret EDB-værktøj til termisk analyse af bygninger og installationer (afløseren for Tsb3). Statens Byggeforskningsinstitut, 2004.
- [3] Byg Boligerne bedre – analyse af bygninger med gulvvarme og radiatorer. Teknologisk Institut, februar 2004.
- [4] Udkast til nye energibestemmelser i bygningsreglementerne. Erhvervs- og Boligstyrelsen, Juli 2004.
- [5] Udvikling og optimering af et energieffektivt straightner ventilationsaggregat med indbygget chopper varmeveksler. Teknologisk institut februar 2003.

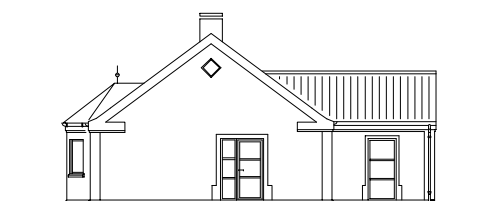
## BILAG 1: FACADER, PLAN OG TVÆRSNIT AF HUSET



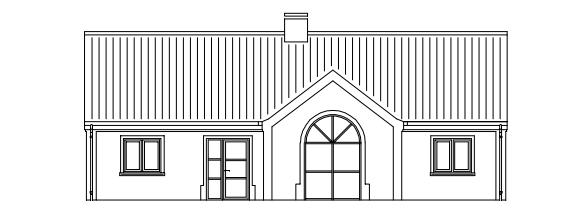
GAVL MOD ØST



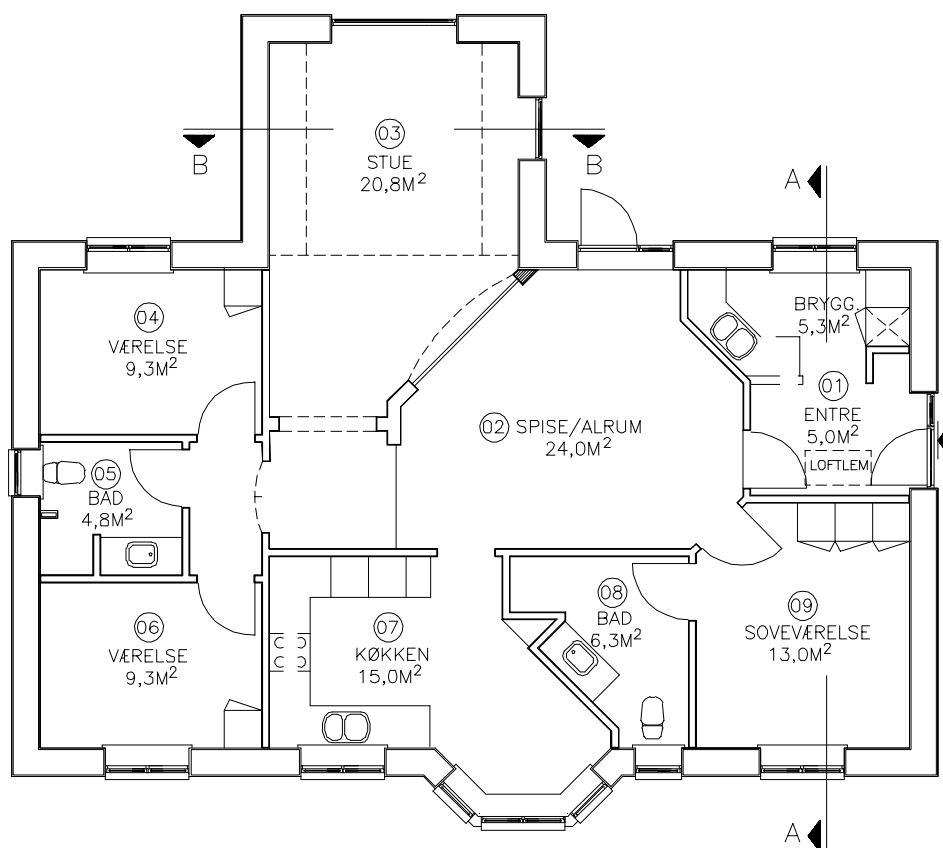
FACADE MOD NORD



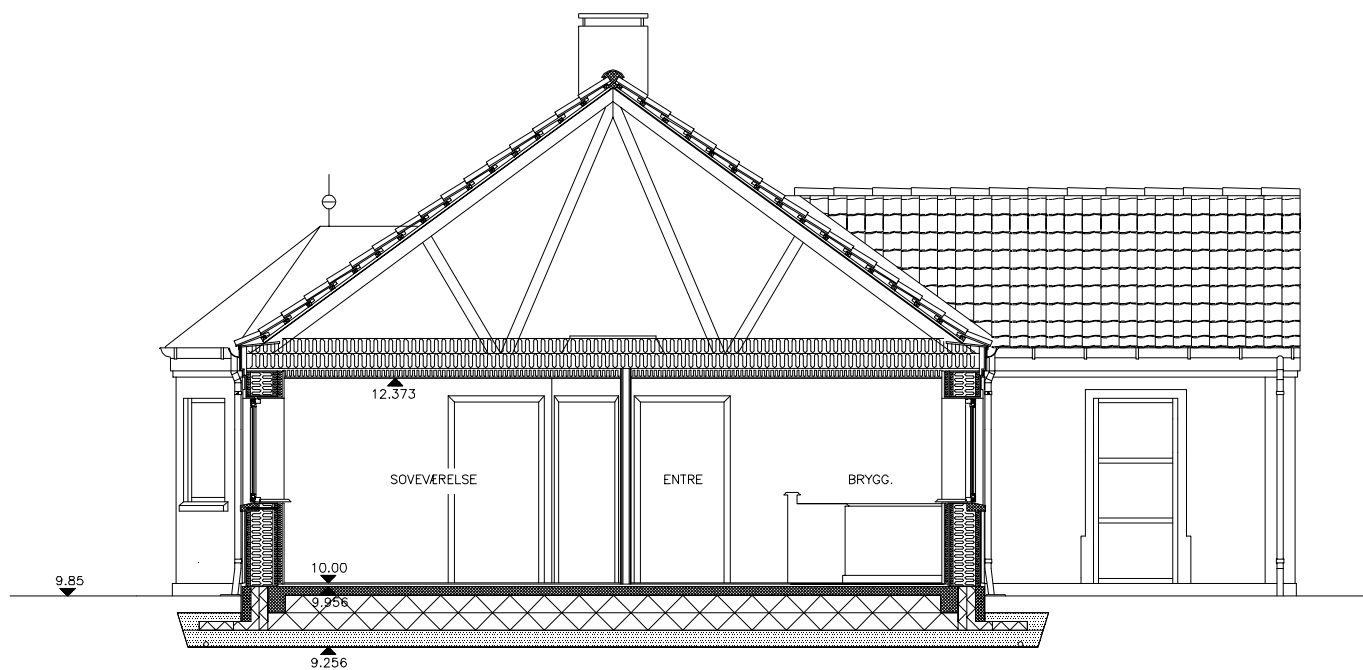
GAVL MOD VEST



FACADE MOD SYD



BRUTTOAREAL 145 M<sup>2</sup>



SNIT A-A

---

## **BILAG 2: ELFORBRUG – KORTLÆGNINGSDATA FOR GRUNDMODEL**

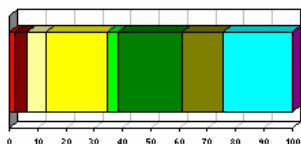
Konvertering	KOMPONENT	"Stat-bruger"	Stk.	kW optaget	n-%	kW nominel	Tekst:	Rum	Runtype	Måler	Driftsdata:					potentiel varme %	potentiel varmetilskud kWh/år
											Variglede-form	Vedvæls-forløb	kWh/år beregnet	kWh/år målt	kWh/år		
Varmer	Mikrobølgeovn inkl. stand-by	Processvarmer	1	1,000	100	1,000	Moulinex Mikroschef FM1505E	Køkken	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	26	100	26	26	26
Lys	Lavvold, halogen35	Belysning	4	0,035	100	0,035		Køkken	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	153	100	153	153	153
Mekanik	Emhætte inkl. belysning	Ventilation	1				Elektronix	Køkken	Servicecenter	Emhætte	Konstant	Proportional	39	100	39	0	0
Varmer	Elkedel (2 ltr. dør)	Processvarmer	1	1,850	100	1,850		Køkken	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	61	100	61	61	61
Varmer	Opvaskemaskine (indbygning)	Processvarmer	1	2,300	100	2,300	ALG 60800 Sensoronic (klasse A)	Køkken	Servicecenter	Opvaskem.	On/off moduleret	Proportional	558	8	312	101	40
Varmer	Konfur, -loggeplader	Processvarmer	1	7,000	100	7,000	Elektronix EHS 602P	Køkken	Servicecenter	Konfur	On/off moduleret	Proportional	212	50	212	50	156
Varmer	Konfur, -køkken	Processvarmer	1	2,000	100	2,000	Elektronix EHS 602P	Køkken	Servicecenter	Konfur	On/off moduleret	Proportional	104	29	104	60	30
Varmer	Kaffemaskine	Processvarmer	1	0,900	100	0,900	Elektronix EHS 602P	Køkken	Servicecenter	Konfur	Konstant	Proportional	365	100	329	329	329
Mekanik	Køleskabe/af frysefryse	Køling	1				Elektronix FR318C (klasse A)	Køkken	Servicecenter	Køleskab	On/off moduleret	Proportional	168	100	168	168	168
Lys	Lavvold, halogen20	Belysning	2	0,020	100	0,020	Reddflame	Stue	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	1456	100	58	58	58
Lys	Lavvold, halogen50	Belysning	3	0,020	80	0,016	Loft	Stue	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	1456	100	87	87	87
Lys	Lavvold, halogen50	Belysning	6	0,050	80	0,040	Loft	Stue	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	1092	100	328	328	328
Lys	Lavvold, halogen50	Belysning	5	0,020	100	0,020	Skab	Stue	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	1733	100	173	173	173
Elektronik	TV #1	Elektronik	1	0,100	100	0,100	Nokia SP7111	Stue	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	7	100	7	7	7
Elektronik	Video	Elektronik	1	0,020	100	0,020	JVC A7/Nican	Stue	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	364	100	7	7	7
Elektronik	DIVERSE, indholdning	Elektronik	1	0,020	100	0,020	Sony Mindline MDS-H1310	Stue	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	364	100	7	7	7
Elektronik	DIVERSE, indholdning	Elektronik	1	0,020	100	0,020	DVD	Stue	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	364	100	7	7	7
Elektronik	DIVERSE, indholdning	Elektronik	1	0,050	100	0,050	Sony forsterker	Stue	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	520	100	26	26	26
Lys	Guldlampe40	Belysning	1	0,040	100	0,040	Loft	Stue	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	364	100	15	15	15
Elektronik	TV #2	Elektronik	1	0,060	100	0,060	Dantax	Soveværelse	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	867	100	52	52	52
Elektronik	Video	Elektronik	1	0,020	100	0,020	Nokia	Soveværelse	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	350	100	7	7	7
Lys	Lavvold, halogen20	Belysning	3	0,020	80	0,016	Loft	Bad/Toilet 1	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	328	100	20	20	20
Lys	Lavvold, halogen20	Belysning	3	0,020	80	0,016	Loft	Bad/Toilet 2	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	728	100	44	44	44
Lys	Lavvold, halogen20	Belysning	1	0,040	100	0,040		Værelse 1	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	900	100	36	36	36
Elektronik	DIVERSE, indholdning	Elektronik	1	0,030	100	0,030	JVC Minianlæg	Værelse 1	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	790	100	24	24	24
Lys	Guldlampe40	Belysning	1	0,040	100	0,040		Værelse 2	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	900	100	36	36	36
Elektronik	PC m. screen-save	Elektronik	1	0,125	100	0,125		Værelse 2	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	260	100	33	33	33
Mekanik	Fryseboks	Køling	1				Alfa AFB325 (klasse F)	Bryggers	Servicecenter	Fryser	On/off moduleret	Proportional	646	646	646	646	646
Lys	Lavvold, halogen50	Belysning	3	0,050	80	0,040	Loft	Bryggers	Servicecenter	Lys-radiatorv-II mv.	Konstant	Proportional	260	100	39	39	39
Varmer	Vaskemaskine	Processvarmer	1	2,300			Bosch WFO 2850 (klasse A)	Bryggers	Servicecenter	Vaskem./tørret.	On/off moduleret	Proportional	233	39	209	40	84
Varmer	Tørretumbler (kondens)	Processvarmer	1	2,800			Bosch WTI 6300 (klasse C)	Bryggers	Servicecenter	Vaskem./tørret.	On/off moduleret	Proportional	233	55	359	100	359
Mekanik	Støvsuger	Specialbærsere	1	1,300	69	0,897		Bryggers	Servicecenter	Vaskem./tørret.	Konstant	Proportional	26	100	34	34	34
Mekanik	Ventilationsanlæg	Ventilation	1	0,105			Ventilation	Bryggers	Servicecenter	Ventilationsanlæg	Variable, lad	VSD/On/Off	8760	100	915	0	0
Elektronik	CTS	Elektronik	1	0,025			Målesystemer og styringer	Bryggers	Servicecenter	Varmeanlæg	Konstant	Konstant	8760	100	219	219	219
Mekanik	Cirkulationspumpe (gulvvarmepumpe)	Pumpning	1	0,050			Grundfos UPS 25-40 (30-60W)	Bryggers	Servicecenter	Varmeanlæg	Konstant	Proportional	8760	100	434	434	3805
															5132		3100

#### Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

#	El-forbrug.	Energiforbrug	
		kWh/år	% af total
	<b>Varme</b>		
1	Mikrobølgeovn inkl. stand-by	26	1,8
2	El-kedel (2 ltr./dag)	61	4,2
3	Opvaskemaskine (indbygning)	101	6,9
4	Kølmur - kogeplader	312	21,4
5	Kølmur - ovn	60	4,1
6	Kaffemaskine	329	22,5
7	Vaskemaskine	209	14,3
8	Tørretumbler (kondens)	359	24,6
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
Sum af resterende registreringer:			
Total sum:		1457	100,0

Procentdiagram:



Antal sammentalte linier: 52

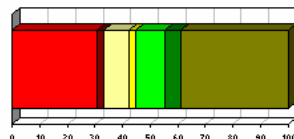
Listen og grafen viser kun de femten mest betydningsfulde poster.

#### Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

#	El-forbrug.	Energiforbrug	
		kWh/år	% af total
	<b>Elektronik</b>		
1	TV #1	173	30,6
2	Video	14	2,5
3	TV #2	52	9,2
4	Video	14	2,5
5	DIVERSE, husholdning	60	10,6
6	PC m. screen-save	33	5,7
7	CTS	219	38,7
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
Sum af resterende registreringer:			
Total sum:		565	100,0

Procentdiagram:



Antal sammentalte linier: 52

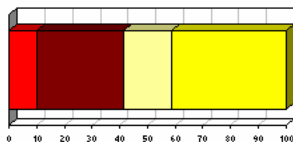
Listen og grafen viser kun de femten mest betydningsfulde poster.

#### Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

#	El-forbrug.	Energiforbrug	
		kWh/år	% af total
	<b>Lys</b>		
1	Glødelampe40	3	9,7
2	Lavvoltage, halogen20	16	31,7
3	Lavvoltage, halogen35	4	17,2
4	Lavvoltage, halogen50	9	41,3
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
Sum af resterende registreringer:			
Total sum:		888	100,0

Procentdiagram:



Antal sammentalte linier: 52

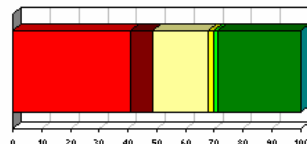
Listen og grafen viser kun de femten mest betydningsfulde poster.

#### Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

#	El-forbrug.	Energiforbrug	
		kWh/år	% af total
	<b>Mekanik</b>		
1	Ventilationsanlæg	915	40,9
2	Køle-/fryselskab fritstående	168	7,5
3	Cirkulationspumpe (gulvvarme)	434	19,4
4	Emhætte inkl. belysning	39	1,7
5	Støvsuger	34	1,5
6	Fryseboks	646	28,9
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
Sum af resterende registreringer:			
Total sum:		2.236	100,0

Procentdiagram:



Antal sammentalte linier: 52

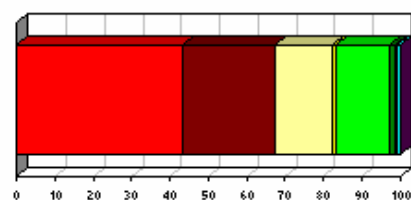
Listen og grafen viser kun de femten mest betydningsfulde poster.

### Kortlægningsresultater.

Det totale årlige energiforbrug fordelt på kategorier og anvendelser.

#	El-forbrug.		Energiforbrug	
	Brugerdefineret inddeling:		kWh/år	% af total
	Rum			
1		Bruggers	2.209	43,0
2		Køkken	1.249	24,3
3		Stue	763	14,9
4		Værelse 1	60	1,2
5		Værelse 2	715	13,9
6		Soveværelse	74	1,4
7		Bad/Toilet 1	20	0,4
8		Bad/Toilet 2	44	0,9
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
Sum af resterende registreringer:				
Total sum:			5.132	100,0

### Procentdiagram:



Antal sammentalte linier: 52

Listen og grafen viser kun de femten mest betydende poster.

---

## **BILAG 3: ELFORBRUG – EL-SPARE-MODEL**

I kolonnen benævnt ”tekst” er der med *kursiv* angivet for hvilke komponenter der er forudsat lavenergiprodukter.



Kategori	KOMPONENT	"Slut-bruger"	Stk.	kW oplyst	n %	kW nominal	Tekst:	Rum	Tilførselsforhold				Driftsdata				potentielt varme kWh/år	potentielt varmeforbrug kWh/år
									Runtype	Måler	Varighedsform	Værdi forløb	h/år	Lastgrad %	kWh/år beregnet	kWh/år målt		
Varmer	Mikrobølgeovn inkl. stand-by	Processvarmer	1	1,000	100	1,000	Moulinex Mikroher FMI 50SE	Køkken	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	26	100	26	26	75	26
Lys	Lavvold, halogen 35	Belysning	4	0,020	100	0,020	Lof	Køkken	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	1092	100	87	87	180	87
Mek-anl.	Enthætte inkl. belysning	Ventilation	1	1,850	100	1,850	Elektronix	Køkken	Servicecenter	Enthætte	Konstant	Proportional	33	100	61	19	0	0
Varmer	Elkedel (2 ltr/dag)	Processvarmer	1	2,000	100	2,000	Bredt på markeder (klasse A)	Køkken	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	558	100	312	77	40	61
Varmer	Ovnen (inkl. belysning)	Processvarmer	1	2,000	100	2,000	Elektronix EHS 603P	Køkken	Servicecenter	Ovnen	On/off moduleret	Proportional	558	8	312	77	40	31
Varmer	Konfur - kogepåder	Processvarmer	1	2,000	100	2,000	Elektronix EOB974W (BFEI 002)	Køkken	Servicecenter	Konfur	On/off moduleret	Proportional	104	29	60	373	50	156
Varmer	Kaffemaskine	Processvarmer	1	0,900	100	0,900	Energiklasse A++	Køkken	Servicecenter	Konfur	On/off moduleret	Proportional	365	100	329	100	50	30
Mek-anl.	Kole-svælskab fristende	Køling	1	0,020	100	0,020	Bredt på markeder	Køkken	Servicecenter	Kole-svælskab	Konstant	Proportional	1456	100	58	100	329	100
Lys	Lavvold, halogen 20	Belysning	2	0,020	100	0,020	Bredt på markeder	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	1456	100	58	100	329	100
Lys	Lavvold, halogen 20	Belysning	3	0,020	80	0,016	Lof	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	1456	100	87	87	180	87
Lys	Lavvold, halogen 50	Belysning	6	0,020	80	0,016	Lof	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	1092	100	131	131	180	131
Lys	Lavvold, halogen 20	Belysning	5	0,020	100	0,020	Stab	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Variable, inuset	Proportional	1733	100	73	73	180	73
Elektronik	TV #1	Elektronik	1	0,060	100	0,060	Bredt på markeder	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	104	104	180	104
Elektronik	DIVERSE, husholdning	Elektronik	1	0,020	100	0,020	JVC A27bican	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	7	7	180	7
Elektronik	DIVERSE, husholdning	Elektronik	1	0,020	100	0,020	Sony Mandise MDJ-JE330	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	7	7	180	7
Elektronik	DIVERSE, husholdning	Elektronik	1	0,050	100	0,050	DVD	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	7	7	180	7
Lys	Gæstelampe 40	Belysning	1	0,011	100	0,011	Lof	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	3	3	180	3
Elektronik	TV #2	Elektronik	1	0,060	100	0,060	Nokia	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	4	4	180	4
Lys	Lavvold, halogen 20	Belysning	3	0,020	80	0,016	Lof	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	7	7	180	7
Lys	Gæstelampe 40	Belysning	1	0,011	100	0,011	Lof	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	52	52	180	52
Lys	Gæstelampe 40	Belysning	1	0,011	100	0,011	Lof	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	20	20	180	20
Lys	Gæstelampe 40	Belysning	1	0,011	100	0,011	Lof	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	44	44	180	44
Lys	Gæstelampe 40	Belysning	1	0,011	100	0,011	Lof	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	10	10	180	10
Lys	Gæstelampe 40	Belysning	1	0,011	100	0,011	Lof	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	24	24	180	24
Lys	Gæstelampe 40	Belysning	1	0,011	100	0,011	Lof	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	10	10	180	10
Lys	Gæstelampe 40	Belysning	1	0,011	100	0,011	Lof	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	33	33	180	33
Elektronik	PC m. screen-save	Elektronik	1	0,125	100	0,125	Energiklasse A++	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	150	150	180	150
Elektronik	Freelocks	Køling	1	0,020	80	0,016	Lof	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	16	16	180	16
Lys	Lavvold, halogen 50	Belysning	3	0,020	80	0,016	Lof	Sue	Servicecenter	Lys-radio/v-t IT mv.	Konstant	Proportional	364	100	16	16	180	16
Varmer	Varmemaskine	Processvarmer	1	1,610	100	1,610	Bredt på markeder (klasse A)	Sue	Servicecenter	Varmemaskine	Konstant	Proportional	233	39	146	146	40	59
Varmer	Tørretumbler (kondens)	Processvarmer	1	1,390	100	1,390	Bredt på markeder (klasse A)	Sue	Servicecenter	Varmemaskine	Konstant	Proportional	233	55	178	178	100	178
Mek-anl.	Støvsuger	Speciellbæret	1	1,300	60	0,897	Bredt på markeder (klasse A)	Sue	Servicecenter	Varmemaskine	Konstant	Proportional	26	100	34	34	180	34
Elektronik	Ventilationsanlæg	Ventilation	1	0,019	100	0,019	SEI = 500 J/m3, n = 0,3 h-1	Sue	Servicecenter	Ventilationsanlæg	Konstant	Proportional	8760	100	166	166	0	0
Elektronik	CIS	Elektronik	1	0,025	100	0,025	Målestener og styrer	Sue	Servicecenter	Varmemaskine	Konstant	Proportional	8760	100	219	219	180	219
Elektronik	Cirkulationspumpe (gulvvarme)	Pumping	1	0,020	100	0,020	Lavvold, halogen 20 W	Sue	Servicecenter	Varmemaskine	Konstant	Proportional	8760	100	175	175	180	175
																2876	2876	1,85

---

## Bilag 4: Elforbrugets betydning for varmemeforbruget

I dette bilag er specificeret varmebalancer og gennemsnitlige inde- og udetemperaturer for parametervariationer på en grundmodel og el-spare-model af huset. Bidrag til varmebalancen er angivet i kWh pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal.

Grundmodeller.

	Reference	Indetemp21	Indetemp23	Koldtfor- efterår	Naturvent	Vestvendt	Bestcase
qHeating	26,2	29,4	36,6	28,5	50,0	29,5	75,6
qCooling	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
qInfiltration	-6,7	-7,1	-7,8	-7,1	-6,6	-6,7	-8,1
qVenting	-3,7	-3,0	-2,0	-2,6	-2,7	-2,9	-0,5
qSunRad	18,7	18,7	18,7	18,6	18,7	14,5	13,8
qPeople	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
qEquipment	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1	25,1
qTransmission	-60,7	-63,9	-70,6	-63,7	-59,6	-60,2	-73,3
qMixing	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-1,0	-1,0	-0,9
qVentilation	-6,9	-7,3	-8,1	-7,1	-32,4	-6,8	-40,1
Sum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
tOutdoor mean	5,0	5,0	5,0	3,9	5,0	5,0	3,9
tOp mean	20,8	21,6	23,4	20,6	20,5	20,8	23,3

El-spare-modeller.

	Reference	Indetemp21	Indetemp23	Koldtfor- efterår	Naturvent	Vestvendt	Bestcase
qHeating	31,0	34,6	42,3	33,9	55,4	34,5	82,0
qCooling	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
qInfiltration	-6,6	-7,0	-7,7	-7,0	-6,5	-6,6	-8,1
qVenting	-2,3	-1,8	-1,1	-1,5	-1,6	-1,7	-0,2
qSunRad	18,7	18,7	18,7	18,6	18,7	14,5	13,8
qPeople	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
qEquipment	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
qTransmission	-59,8	-63,1	-70,0	-63,0	-58,9	-59,3	-72,8
qMixing	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,7	-0,8	-0,6
qVentilation	-6,8	-7,2	-8,0	-7,0	-32,3	-6,7	-40,1
Sum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
tOutdoor mean	5,0	5,0	5,0	3,9	5,0	5,0	3,9
tOp mean	20,5	21,5	23,3	20,4	20,4	20,5	23,2